

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Biofeedback pro hodnocení zlepšení funkce pravé a levé  
hemisféry**

**Biofeedback for evaluation the improvement of right and left  
hemisphere functions**

**2019**

**Zdeňka Dostálová**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Zdeňka Dostálová**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik  
Téma: **Biofeedback pro hodnocení zlepšení funkce pravé a levé hemisféry**  
**Biofeedback for Evaluation the Improvement of Right and Left Hemisphere Functions**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor funkce pravé a levé hemisféry.
2. Rešerše stávajících možností biofeedbacku pro "učení" pravé a levé hemisféry.
3. Návrh vlastního řešení s využitím stávajícího HW pro měření reakční periody.
4. Úprava a tvorba SW pro řízení stávajícího HW.
5. Návrh testů pro určení míry zlepšení funkce pravé a levé hemisféry.
6. Týdenní testování dobrovolníků.
7. Analýza naměřených dat.
8. Zhodnocení práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
- [2] KHAZAN, Inna Z. *The clinical handbook of biofeedback: A step-by-step guide for training and practice with mindfulness*. Chichester: John Wiley & Sons, 2013. ISBN 978-1119993711.
- [3] SCHWARTZ, Mark S. a Frank ANDRASIK (ed.). *Biofeedback: A practitioner's guide*. New York: The Guilford Press; Fourth edition, 2017. ISBN-13: 978-1462531943.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Peter, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě dne: 30.dubna 2019

*Dostálková Ed*  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala panu Ing. Lukáši Peterovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je ověřit, zda lze pravidelným trénováním zlepšit propojení pravé a levé hemisféry. Díky jejich lepší koordinaci se zlepšují i schopnosti daného člověka, jako například jemná motorika, učení se, psaní apod.

Toto trénování je realizováno pomocí již sestaveného robustního měřicího zařízení, které bylo pojmenováno Bi-Fi. Zařízení měří reakční dobu uvědomění a motorickou reakci na vizuálně evokovaný podnět. Výsledky měření lze sledovat v reálném čase v aplikaci vytvořené v prostředí LabView, které poskytuje obsluhu i testované osobě biofeedback. Výsledky měření jsou ukládány v textovém souboru, který slouží pro statistické vyhodnocení.

Součástí práce je testování osmi dobrovolníků. Výsledky jejich měření jsou v praktické části graficky zpracovány a vyhodnoceny.

## **Klíčová slova**

mozek; pravá a levá hemisféra; biofeedback; reakční doba; měřicí zařízení; Bi-Fi

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is to verify whether connection of left and right hemisphere can be improved by regular training. Their better coordination also improves the skills of a person, such as fine motor skills, learning, writing, etc.

This training is realized with the already built robust measuring device, which was named Bi-Fi. The device measures the reaction time of awareness and motoric reaction to the visually evoked subject.

The measurement results can be viewed in real time in a LabView application that provides biofeedback to operator and to tested subject. The measurement results are stored in a text file for statistical evaluation.

The work includes testing of eight volunteers. The results of their measurements are graphically processed and evaluated in the practical part.

## **Key words**

brain; right and left hemisphere; biofeedback; reaction time; measuring equipment; Bi-Fi

## Obsah

Seznam použitých symbolů.....	- 9 -
Seznam použitých zkratk.....	- 9 -
Seznam ilustrací .....	- 10 -
Seznam tabulek .....	- 11 -
Úvod.....	- 12 -
1 Teoretická část.....	- 13 -
1.1 Základní rozdělení a funkce mozku .....	- 13 -
1.2 Pravá a levá hemisféra.....	- 14 -
1.3 Reakční doba .....	- 16 -
1.4 Biofeedback.....	- 16 -
1.4.1 Učení a modely biofeedbacku .....	- 17 -
2 Rešerše .....	- 18 -
2.1 Závěr rešerše .....	- 29 -
3 Praktická část .....	- 30 -
3.1 Návrh řešení .....	- 30 -
3.2 Stávající zařízení .....	- 31 -
3.2.1 Algoritmus nazvaný Diagnosa .....	- 32 -
3.2.2 Algoritmus nazvaný Choice .....	- 32 -
3.3 Provedené úpravy na zařízení.....	- 33 -
3.3.1 Redukce počtu tlačítek .....	- 33 -
3.3.2 Zkrácení testovacího cyklu.....	- 33 -
3.3.3 Zrychlení frekvence rozsvěcování tlačítek.....	- 33 -
3.4 Uživatelská aplikace.....	- 34 -
3.4.1 Provedené úpravy v aplikaci .....	- 34 -
3.5 Návrh testování osob .....	- 36 -
3.6 Průběh testování .....	- 37 -
3.7 Výsledky testování .....	- 38 -
3.7.1 První testovaná osoba – muž 25 let .....	- 38 -
3.7.2 Druhá testovaná osoba – žena 49 let .....	- 40 -

3.7.3	Třetí testovaná osoba – muž 79 let .....	- 42 -
3.7.4	Čtvrtá testovaná osoba – žena 75 let .....	- 44 -
3.7.5	Shrnutí výsledků všech testovaných osob .....	- 46 -
	Závěr .....	- 48 -
	Použitá literatura .....	- 49 -
	Seznam příloh.....	- 51 -



## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
<b>f</b>	Hz	Frekvence
<b>t</b>	S	Čas
<b>U</b>	V	Napětí

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>ADHD</b>	Attention Deficit Hyperactivity Disorder
<b>DWT</b>	Discrete wavelet transform
<b>EEG</b>	Electroencephalography
<b>EOG</b>	Electrooculography
<b>GUI</b>	Graphical user interface
<b>HEOG</b>	Horizontally electrooculography
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>VEOG</b>	Vertically electrooculography

## Seznam ilustrací

<i>Obrázek 1.1 Mediánní a frontální pohled na mozek [1]</i> .....	- 13 -
<i>Obrázek 1.2 Corpus callosum [1]</i> .....	- 14 -
<i>Obrázek 1.3 Obrázek použitý při experimentu [5] str.78.</i> .....	- 15 -
<i>Obrázek 2.1 Průměrování posunů pomalých kortikálních potenciálů po objevení podnětů u jednoho z úspěšných studentů</i> .....	- 19 -
<i>Obrázek 2.2 Topografie rozdílů pomalých kortikálních potenciálů zaznamenaná 4 sekundy po nástupu podnětů u jednoho úspěšného žáka</i> .....	- 19 -
<i>Obrázek 2.3 Neurosky senzor</i> .....	- 20 -
<i>Obrázek 2.4 Alfa vlny generované během učení</i> .....	- 21 -
<i>Obrázek 2.5 Statistické zobrazení míry soustředění studentů</i> .....	- 21 -
<i>Obrázek 2.6 Zařízení SunBall</i> .....	- 22 -
<i>Obrázek 2.7 Hra Break Bricks</i> .....	- 22 -
<i>Obrázek 2.8 Hra Cars</i> .....	- 23 -
<i>Obrázek 2.9 Hra Fish</i> .....	- 23 -
<i>Obrázek 2.10 Hra Planet defence</i> .....	- 24 -
<i>Obrázek 2.11 Rozmístění bezdrátových elektrod Starlab Enobio</i> .....	- 25 -
<i>Obrázek 2.12 Diagram adaptivního filtračního procesu</i> .....	- 25 -
<i>Obrázek 2.13 Blokové schéma odstranění EOG artefaktů z EEG signálu</i> .....	- 27 -
<i>Obrázek 2.14 Výsledky adaptivní filtrace a signálního odčítání šesti sekundového signálu</i> ..	- 27 -
<i>Obrázek 2.15 Lokalizace elektrod při použití zařízení Enobio</i> .....	- 28 -
<i>Obrázek 3.1 Schéma postupu práce</i> .....	- 30 -
<i>Obrázek 3.2 Zařízení Bi-Fi</i> .....	- 31 -
<i>Obrázek 3.3 Blokový diagram upraveného měřicího programu</i> .....	- 32 -
<i>Obrázek 3.4 Okno uživatelského software</i> .....	- 34 -
<i>Obrázek 3.5 Původní grafické prostředí [18] vs. nové</i> .....	- 35 -
<i>Obrázek 3.6 Příklad úvodního testu</i> .....	- 38 -
<i>Obrázek 3.7 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Petr 25 let</i> .....	- 39 -
<i>Obrázek 3.8 Graf výsledků měření – Petr 25 let</i> .....	- 39 -
<i>Obrázek 3.9 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvědomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Petr</i> .....	- 40 -
<i>Obrázek 3.10 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Kamila 49 let</i> .....	- 41 -
<i>Obrázek 3.11 Graf výsledků měření – Kamila 49 let</i> .....	- 41 -
<i>Obrázek 3.12 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvědomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Kamila</i> .....	- 42 -
<i>Obrázek 3.13 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Jiří 79 let</i> .....	- 42 -
<i>Obrázek 3.14 Graf výsledků měření – Jiří 79 let</i> .....	- 43 -
<i>Obrázek 3.15 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvědomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Jiří</i> .....	- 43 -
<i>Obrázek 3.16 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Bohumila 75 let</i> .....	- 44 -

<i>Obrázek 3.17 Graf výsledků měření– Bohumila 75 let .....</i>	<i>45 -</i>
<i>Obrázek 3.18 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvědomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Bohumila.....</i>	<i>45 -</i>
<i>Obrázek 3.19 Regresní křivky průměrů celkových reakčních dob a reakční doby uvědomění pro obě ruce, pravou a levou ruku v závislosti na věku testovaných dobrovolníků.....</i>	<i>47 -</i>

## **Seznam tabulek**

<i>Tabulka 3.1 Přehled testovaných osob.....</i>	<i>37 -</i>
<i>Tabulka 3.2 Srovnání průměrných hodnot všech dobrovolníků měření, seřazeno dle věku ...</i>	<i>46 -</i>

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je získání biofeedbacku pro hodnocení zlepšení funkce pravé a levé hemisféry.

Obvykle bývá jedna hemisféra dominantní. K dosažení synchronizačního stavu je důležité aktivovat různé kognitivní mozkové oblasti ve stejný čas, to se děje například při pohybu obou rukou zároveň. Mozek je tak nejlépe využíván. Díky lepší koordinaci obou hemisfér se zlepšují i schopnosti daného člověka, jako například jemná motorika, učení se, psaní apod. Činnost obou hemisfér je možné zlepšovat jednoduchým tréninkem, kdy osoba vykonává každou rukou rozdílný pohyb. Takto lze trénovat i každou ruku zvlášť.

V další kapitole bude zpracována rešerše publikací, zabývajících se stávajícími zařízeními a možnostmi využití biofeedbacku.

Ve druhé polovině práce se zaměříme na praktické ověření, zda dojde při pravidelném tréninku ke zlepšení propojení hemisfér.

Toto trénování bude realizováno pomocí již sestaveného robustního měřícího zařízení, které bylo pojmenováno Bi-Fi. Zařízení slouží k měření reakčních dob na vizuálně evokovaný podnět. Hardware obsahuje šestnáct podsvícených tlačítek řízených mikrokontrolérem Arduino. Ten zasílá naměřená data pomocí sériové komunikace do aplikace, která je vytvořena v prostředí LabView. Výsledky měření lze v aplikaci sledovat v reálném čase, které poskytují obsluhu i testované osobě biofeedback. Ty jsou také ukládány v textovém souboru, který slouží pro statistické vyhodnocení.

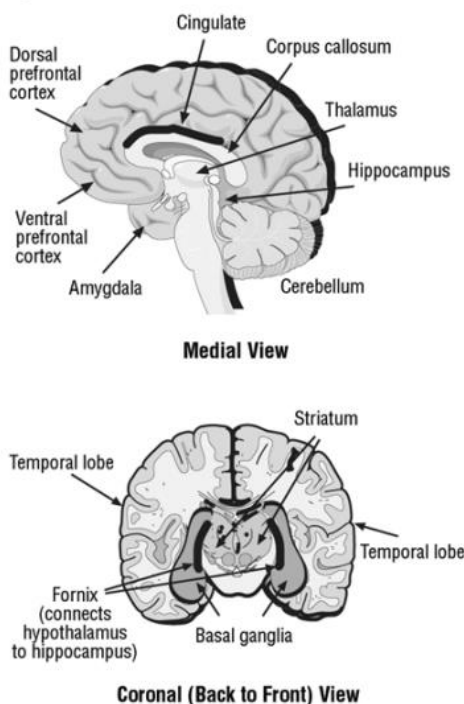
Celkem bude testováno osm dobrovolníků. Před měřením na zařízení podstoupí všichni úvodní test. Stejný test podstoupí také po týdenním tréninku na Bi-Fi. Oba testy budou použity pro srovnání, zda došlo ke zlepšení propojení hemisfér. Na závěr práce budou analyzovány a zpracovány výsledky.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Základní rozdělení a funkce mozku

Oblasti mozku jsou rozděleny do laloků. Okcipitální lalok se nachází v zadní části mozku a je primárně zodpovědný za zrak. Do levé hemisféry se dostávají zrakové informace ze sítnice pravého oka a naopak, z důvodů křížení drah zrakových nervů. Temporální laloky jsou umístěny ve spánkové oblasti. Tyto oblasti jsou primárně zodpovědné za sluch, paměť, řeč a rovnováhu. Propojení vizuální a řečové oblasti je součástí čtení: vysoká vizuálně sluchová konektivita. Frontální lalok je zapojen do účelových činností, jako je úsudek, kreativita, řešení problémů a plánování. Má také krátkodobou paměť pro „držení“ dvou a více myšlenek najednou. V čelním laloku se také nachází Brocovo řečové centrum, které je u většiny lidí umístěno v levé hemisféře. Parietální lalok je na horní a zadní části hlavy. Jeho úkoly zahrnují zpracování vyšších sensorických a jazykových funkcí. Pátý mozkový lalok insula je překrytý ostatními laloky a účastní se řízení vegetativních funkcí a emotivitou [1] [2] [17].

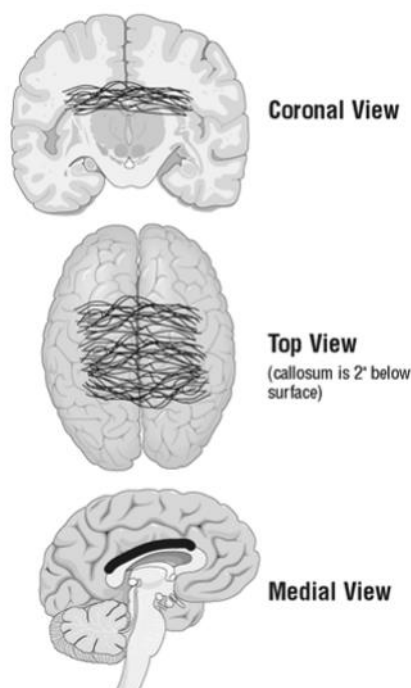
Oblast uprostřed mozku zahrnuje hippocampus, thalamus, hypotalamus, cingulum, bazální ganglia, fornix, striatum a amygdalu, známou také jako limbický systém, který patří k nejsložitějším systémům v mozku. Představuje 20 % objemu a je částečně zodpovědný za emoční a sociální chování, spánek, pozornost, paměť, motivaci, regulaci těla hormony, sexualitu a tvorbu mnoha chemických látek v mozku. Nicméně, významný neurolog Joseph LeDoux (1996) tvrdí, že neexistuje žádný limbický systém, ale jenom specifické struktury, které zpracovávají emoce, jako je amygdala [1] [3].



Obrázek 1.1 Mediální a frontální pohled na mozek [1]

## 1.2 Pravá a levá hemisféra

Mozkové polokoule jsou morfologicky asymetrické, ať už odlišnou velikostí laloku, tak zastoupením nervových mediátorů, synapsí či funkčních center. Části mozku, pravá a levá hemisféra, jsou propojeny pomocí svazků nervových vláken. Největší z těchto propojujících cest je corpus callosum, obsahuje přibližně 250 milionu nervových vláken. Informace jsou mezi hemisférami propojené a přenášeny [1] [2].



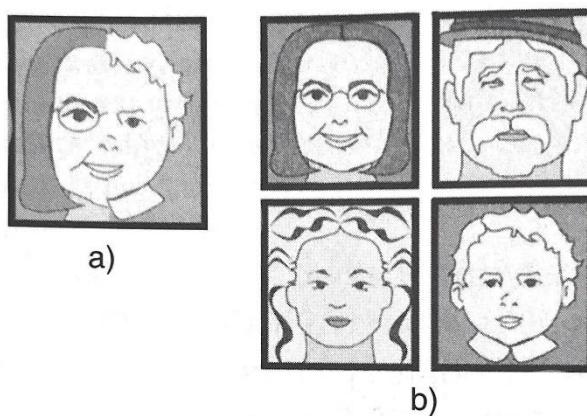
Obrázek 1.2 Corpus callosum [1]

Ačkoliv každá strana mozku zpracovává věci rozdílně, některé dřívější předpoklady o levé a pravé části mozku, které říkaly, že levá strana je ta logická a pravá je ta kreativní, jsou zastaralé. Tyto zjednodušené a mylné představy jsou rozšířeny dodnes. Obecně levá hemisféra má tendenci k částečnému zpracovávání informací, v pořadí a použití řečových a textových reprezentací. Každopádně žádná z těchto tendencí negarantuje to, že levá strana mozku bude logická. Použití logiky není dáno, je naučeno – je to vysoce komplexní, kontextuálně založená schopnost, která pravděpodobně využívá mnoho oblastí mozku [1] [4].

Jedno z novějších pojetí funkcí mozku poukazuje na rozdílné zpracování informací. Staré (známé) informace jsou zpracovány v levé hemisféře, zatímco nové informace jsou zpracovány v pravé. Totéž se objevuje i při řešení problému [2].

Stav hemisférické synchronizace nastává extrémně málokdy během běžných dennodenních aktivit. Typicky lidé používají obě hemisféry alternativně a většinou jedna hemisféra dominuje. V případě učícího se procesu obvykle lidé používají pouze levou hemisféru. Během dne stav synchronizace může přirozeně nastat pouze při probouzení se nebo před usínáním. I tak, těchto několik sekund není dostatečně výhodných pro využití hemisférické synchronizace. Nicméně, řádnou stimulací a tréninkem je možné přinutit obě hemisféry ke spolupráci. K dosažení synchronizačního stavu je důležité aktivovat různé kognitivní mozkové oblasti ve stejný čas. Efektivní vzdělávací proces může být obvykle pozorován, když obě hemisféry pracují zároveň. Ve smyslu signálu pokles v beta vlnách a nárůst v alfa vlnách jsou nejvíce požadované stavy, protože představují důkaz hemisférické synchronizace. V závislosti na individuálních vlastnostech se někteří lidé učí nejlépe posloucháním, zatímco další preferují sledování obrazu nebo jen čtení a psaní [13].

V 60. letech 20. století byla provedena operace oddělení mozkových hemisfér, ve které byly odříznuty hlavní komisurální spoje propojující hemisféry, z důvodu kontroly nad těžkou epilepsií. Neurologickým oddělením se zamezilo šíření epileptického záchvatu z jedné hemisféry do druhé. Následkem callosotomie je získaný syndrom rozštěpeného mozku. Testování každé oddělené hemisféry znovu prokázalo to, že levá hemisféra se specializuje na jazykové funkce a pravá na emoční a neverbální funkce [6] [5].



Obrázek 1.3 Obrázek použitý při experimentu [5] str.78

Po provedené callosotomii proběhl experiment, při kterém se pokusná osoba soustředila na obrazovku, na níž se objevila nereálná tvář, která byla rozdělena na dvě poloviny. Na jedné polovině byl obličej ženy a druhou polovinu tvořil obličej dítěte. Když se poté vědci zeptali, co je na obrázku, pokusná osoba odpověděla – dítě. Ale když byla požádána, aby vybrala prstem, na jeden ze čtyř obrázků, co viděla na tom předchozím – ukázala na obrázek ženy. Z toho vyplývá, že levá strana mozku kontroluje slovní zpracování zrakové informace [5].

### 1.3 Reakční doba

Reakční doba je definována jako čas, který uběhne od počátku vzniku definovaného podmětu do doby odpovídající reakci na tento podmět.

Z celkové reakční doby tvoří čas potřebný pro vizuální percepci zhruba 70 %, zbylých 30 % vyžaduje motorická odezva. Mezi nejčastější druhy percepce patří zrakové a sluchové vnímání.

Reakční časy můžeme rozdělit do tří kategorií:

- Jednoduchý reakční čas, kdy subjekt reaguje pouze na jeden stimul, jednou reakcí. Percepce stimulu, na který je motorická odezva. Jednoduchá reakce na vizuální stimul se pohybuje v intervalu mezi 200–300 ms, u trénovaných jedinců může dosáhnout hodnot již od 100 ms.
- Čas rozpoznávací, který se skládá ze dvou a více stimulů, ale subjekt smí zareagovat pouze na jeden předem domluvený stimul. Zahrnuje percepci stimulu, selekci a motorickou reakci. Zde se reakce prodlužuje vlivem rozlišení stimulu, hodnoty se pohybují zhruba od 500–1000 ms.
- Čas výběrový, kdy na subjekt působí dva, anebo více stimulů, na které musí subjekt reagovat odlišně a zvážit, která odezva je adekvátní na tento stimul. Zahrnuje percepci, selekci stimulu, výběr odezvy a motorickou odezvu [5][16].

### 1.4 Biofeedback

Klinická biofeedbacková terapie je jednou z mnoha nových přístupů v oblasti zdravotní péče. Feedback byl součástí lidské historie odpradáвна, například při využívání zrcadlového odrazu pro zkoumání výrazu emocí [7].

Biofeedback terapie učí jedince, jak modifikovat jejich fyziologii, za účelem zlepšení tělesného, duševního a emočního zdraví [8].

Jak přesně, nebo proč biofeedback funguje, nebylo zatím stanoveno. Je však známo, že podporuje relaxaci, což pomáhá zmírnit mnoho různých stresových stavů. Jeho princip je takový, že mysl a tělo jsou propojené a této vazby umí lidé využít ke změně fyzické aktivity a zlepšení svého zdraví [9].

Biofeedback je nefarmakologická léčba, nemá žádná rizika nebo vedlejší účinky a zařízení jsou obvykle neinvazivní. Přístroje poskytují průběžné sledování a transformaci fyziologických dat pro monitorovaného pacienta do srozumitelné zpětné vazby, jako jsou například zvukové nebo vizuální signály [7] [9].

Fyziologické funkce jsou měněny, když je jedinec pod stresem. Probíhá zvýšení srdečního tepu, krevního tlaku nebo frekvence dýchání, pacient se potí a svaly jsou v kontrakci. Pokud nastanou tyto stresové stavy, dojde k jejich zobrazení na monitoru. Když se pacient pokusí



tyto stavy zastavit, je poskytnut okamžitý feedback, který mu pomáhá soustředit se na drobné změny v těle, třeba jako relaxace svalů nebo zmírnění bolesti [9].

Elektroencefalografický feedback, nazýván též jako neurofeedback, je používán při léčbě ADHD a epilepsie a je stále více předmětem odborných výzkumů [8].

Pomocí biofeedbacku si uživatel může uvědomovat myšlenky, pocity a chování, spojené s jejich fyziologií a vytvořit nové vazby. S využitím operantního podmiňování dochází k přenesení autonomních fyziologických informací na vědomou úroveň. Tyto naučené změny, díky aktivaci nepoužívaných synapsí, mohou přetrvávat i nadále, bez zpětné vazby [8] [12].

#### 1.4.1 Učení a modely biofeedbacku

Biofeedbacková terapie je spíše procesem tréninku, oproti léčbě. Přesná zpětná vazba usnadňuje učení se jakékoliv činnosti, ať se jedná o golfový putt, vyřešení nějakého algebraického příkladu nebo ovládnutí fyziologického chování. U muže, který hraje šipky s páskou přes oči, je menší šance, že dosáhne tak dobrého skóre, jako když pásku nemá, protože zpětná vazba je pro něj důležitá [7] [8].

- Operantní podmiňování a učení se feedbackem

Operantní podmiňování je model učení se, který využívá důsledků jako prostředku k úpravě výskytu nebo typu chování. Pro biofeedback, model přímého operantního podmiňování spoléhá výlučně na zesílení zobrazovaných signálů za účelem, aby pacienti byli schopni změnit svou fyziologii. Učení se feedbackem často funguje společně s operantním posilováním [8].

- Psychofyziologická psychoterapie

Pacientům, kteří trpí onemocněním s hlavní stresovou složkou, můžeme pomoci biofeedbackem, za použití psychofyziologického modelu učení se. Ovládnutí stresu a ostatní psychoterapeutické zákroky mohou být aplikované v kombinaci s biofeedbackovým tréninkem za účelem uvědomit si, jaký dopad má stres v životě na jejich fyziologii. Tento model učení používá jak psychofyziologické posouzení, tak i psychologické ohodnocení, aby určil, které myšlenkové a behaviorální vzorce přispívají k pacientově psychologické zranitelnosti. Zařízení se stává zrcadlem, umožňující pacientovi vidět problém, který sám neidentifikoval [7] [8].

Efektivnost a účinnost tréninku je velice obtížné posoudit v denní praxi, z důvodu nevyhnutelného množství náhodných proměnných. Nicméně biofeedbackový trénink se začíná testovat u mnoho poruch a je předmětem výzkumu. Ve světě je stále více přijímaný veřejností a uznávaný zdravotními pojišťovnami, stejně jako odborníky [7][15].

## 2 Rešerše

### **Naučené změny mozkových stavů po kognitivním zpracování u lidí [10]**

**Název:** Learned changes of brain states alter cognitive processing in humans

**Autor:** MOHR, Bettina; PULVERMÜLLER, Friedemann; SCHLEICHERT, Hans

**Publikace:** Neuroscience letters, 1998, 253.3: 159-162

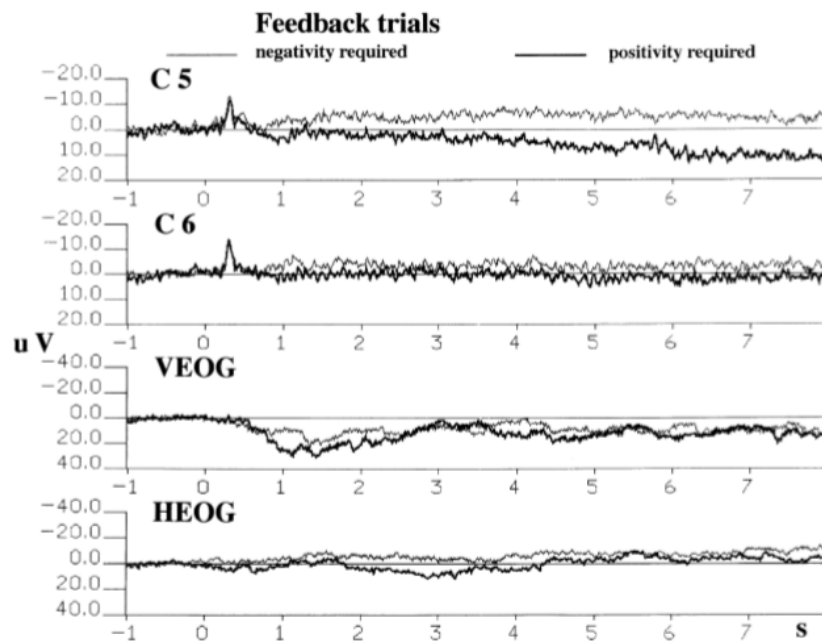
Tento článek se zabývá tím, zda jsou lidé schopní se naučit dobrovolně ovládat svoji kortikální aktivitu. Jestliže parametr vypočítaný ze spontánních EEG vln je okamžitě zaslán zpátky účastníkům studie, předpokládá se naučení ovládání tohoto parametru pomocí aktivního měnění stavů mozku.

Spektrální výkon v alfa pásmu, evokované potenciály a pomalé změny kortikálních potenciálů (takzvané DC potenciály) se ukázaly být nejefektivnějšími EEG parametry pro operantní podmiňování.

Za účelem kontrolovat rychlost specifických kognitivních operací může být důležité vyvolat topograficky specifické změny v mozkové aktivitě. Pro zpracování jazyka se ukázaly jako nejdůležitější části levé perisylvické oblasti.

### **Průběh studie**

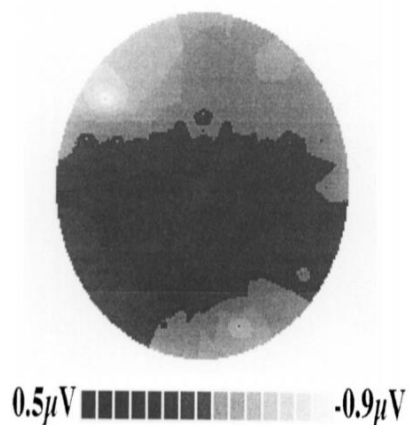
Studie se zúčastnilo dvanáct zdravých subjektů – praváků. Účastníci studie byli cvičeni ve vyvolávání negativních a pozitivních změn pomalých kortikálních potenciálů, závislých na dvou rozlišujících podnětech. Během všech úkolů subjekty musely cílit oči na fixační kříž uprostřed monitoru. Při objevení symbolu každého rozlišujícího podnětu bylo nahráno EEG relativní k připojenému odkazu. Potenciály zaznamenané na C5 byly použity jako feedbackový signál. Záznamy z oblasti C6 byly použity pro zjištění potenciálních změn specifických pro levou hemisféru. Možné oční artefakty byly monitorovány pomocí bipolárních záznamů vertikálních a horizontálních elektrokulogramů – VEOG a HEOG. Během pokusů byla zpětná vazba o změnách dána pozicí symbolu rakety, která informovala subjekt o tom, že jeho pomalý kortikální potenciál byl zaznamenán na základní úrovni na C5. Pozice nad fixací jsou kódovány pro správné posuny a raketa objevující se pod fixací naznačuje špatné posuny potenciálů. Každá tréninková sekce obsahovala 100 pokusů, 40 s feedbackem, 30 bez feedbacku a dalších 30 s feedbackem. Feedbackový trénink byl proveden na každém subjektu po dobu 3-4 týdnů, zahrnující alespoň 12 až 24 sezení. Jestli subjekt vykazoval signifikantně více negativních pomalých potenciálů na C5 v negativitě, ve srovnání s pozitivními podmínkami při desátém sezení, trénink pokračoval, dokud tři navazující sezení prokázaly významné rozdíly mezi podmínkami u feedbackových pokusů a u přenosových pokusů.



Obrázek 2.1 Průměrování posunů pomalých kortikálních potenciálů po objevení podnětů u jednoho z úspěšných studentů

Účastník byl klasifikován jako neúspěšný, pokud nebyl žádný rozdíl mezi pomalými kortikálními potenciály mezi negativními a pozitivními podmínkami. Šest účastníků – ti, co se učili – úspěšně dokončili feedbackový výcvik. Zbývajících šest nebylo úspěšných.

### Negativity -Positivity



Obrázek 2.2 Topografie rozdílů pomalých kortikálních potenciálů zaznamenaná 4 sekundy po nástupu podnětů u jednoho úspěšného žáka

Všichni zúčastnění také absolvovali test, kdy měli rozlišit, zda se jedná o smysluplné slovo, či pseudoslovo. Subjekty museli provést zrychlené lexikální rozhodnutí pomocí stisknutí tlačítek. Testy prokázaly, že existuje podstatný rozdíl v reakční době mezi pozitivními a negativními stavy u úspěšných učených subjektů (704 ms vs. 776 ms), ale ne u těch neučených. Data všech šesti úspěšných žáků naznačila podstatný rozdíl v průměrné době odezvy lexikálních rozhodnutí mezi pozitivním a negativním stavem. V průměru vypočítaném u všech žáků byly lexikální rozhodnutí během negativního stavu o 72 ms rychlejší, což nastává, když jsou přítomné více negativní elektro-kortikální odpovědi na jazykové části mozkové kůry levé hemisféry.

V této studii je dokázáno, že pomocí tréninku EEG biofeedbackem se můžeme naučit lépe pracovat se svým mozkem a zlepšit tak rychlost některých specifických kognitivních funkcí. Z tohoto článku vyplývá, že je možné mozek naučit, při využití biofeedbacku, pracovat efektivněji a rychleji.

### **Neurosky EEG biosenzor použitý ve vzdělání [11]**

**Název:** Neurosky EEG Biosensor Using in Education

**Autor:** TABAKCIOĞLU, Mehmet; ÇİZMECI, Hüseyin; AYBERKIN, Doruk

**Publikace:** International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 2016, 4.Special Issue-1: 76-78

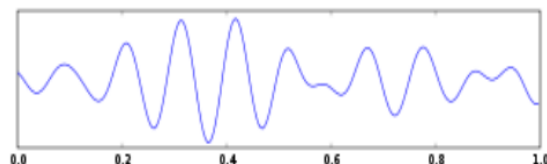
V této studii je navrhnutý program pro využití Neurosky biosenzoru pro vyhodnocení úrovně soustředěnosti studentů ve výuce fyziky, pomocí snímání mozkových vln.



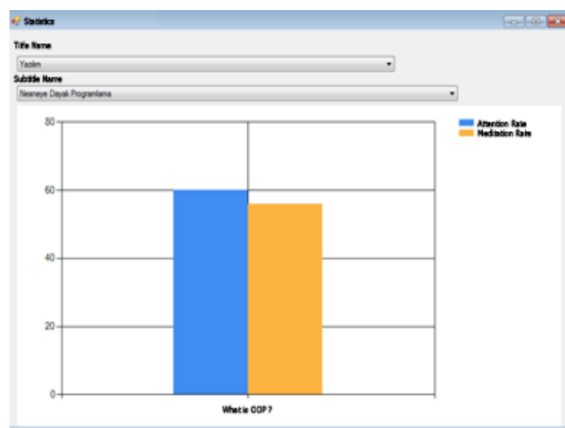
*Obrázek 2.3 Neurosky senzor*

Celý experiment spočívá v tom, že instruktoři načtou materiály kurzu ve formě textu, prezentace, obrazu nebo videa. Studenti se zaregistrují do programu a vyberou si z nabídky lekcí. Nasadí si biosenzor na hlavu a začnou studovat. Během doby studování dochází k zaznamenávání

jejich soustředění a přemýšlení. V případě, že studenti chtějí projít lekci při nižší míře pozornosti, systém jim dá varování, že jejich úroveň pozornosti a soustředění je nižší, než předem určená hodnota a z tohoto důvodu nemohou projít do další lekce. Instruktor může vidět statistický průměr míry soustředění a pozornosti studentů. Senzor poukazuje také na rozdíl míry soustředění a pozornosti v případě rozdílné barvy místnosti. Změnou barvy místnosti mohou být tyto míry zvýšeny nebo naopak sníženy.



Obrázek 2.4 Alfa vlny generované během učení



Obrázek 2.5 Statistické zobrazení míry soustředění studentů

Neurosky EEG biosenzor je neinvazivní a levný. Poskytuje studentům zpětnou vazbu a může přispět k jejich zlepšení. Neurosky EEG biosenzor může být také použit pro identifikování emocí během hraní her.

Přínosem tohoto Neurosky EEG biosenzoru je, že pomocí zpětné vazby můžeme vypočítat naši nejlepší míru soustředěnosti a jaké podmínky jsou pro nás při učení ty nejvhodnější. Například jaká barva v místnosti se jeví jako nejlepší, které formy učebních materiálů si zvolit, nebo i jaká je vhodná denní doba či délka pro učení. To vše vede k možnému celkovému zlepšení efektivnosti učení se.

### **Zařízení SunBall [12]**

**Název:** SunBall

**Autoři:** Mgr. Jaroslava Pochmonová, Ph.D., Bc. Anežka Tomková, Bc. Josef Srnec

**Publikace:** SunBall Guide [online]. Brno: Gradient Labs, 2018 [cit. 2018-10-9].  
Dostupné z: <https://sunapp.io/manual/cz/>

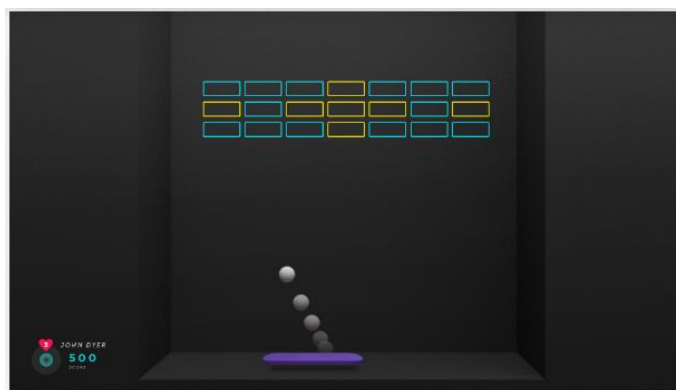
SunBall je zařízení využívající zpětné vazby pro zlepšení uvědomění si a lepší kontroly vlastního těla. Využívá kombinaci fyzického, mentálního tréninku a stability. Zařízení SunBall je spojení dvou nafouknutých míčků pomocí SunBall hubu, ve kterých se nachází citlivé tlakové senzory, softwaru a USB dongle pro bezdrátovou komunikaci, který využívá interaktivní hry pro zlepšení kognitivních funkcí.



*Obrázek 2.6 Zařízení SunBall*

Pacienti si mohou vybrat z několika her, například:

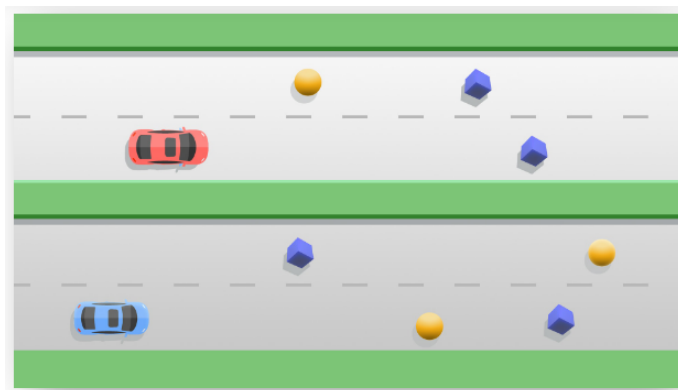
#### **Hra Break Bricks – obtížnost 4/5**



*Obrázek 2.7 Hra Break Bricks*

Cílem této hry je odrážet létající míček a rozbít zbarvené obdélníky. Některé z nich skrývají bonusy.

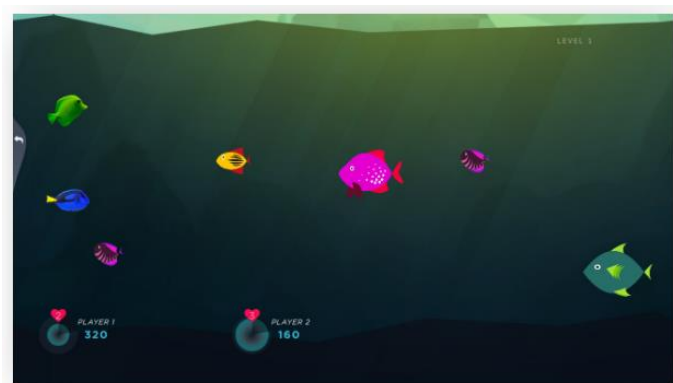
### Hra Cars – obtížnost 2(5)/5



Obrázek 2.8 Hra Cars

Cílem hry je vyhnout se modrým krychličkám, a naopak sbírat kulaté tvary. Hra se stává mnohem složitější na koordinaci pohybu, pokud má pacient za úkol ovládat dvě auta, každé jednou rukou.

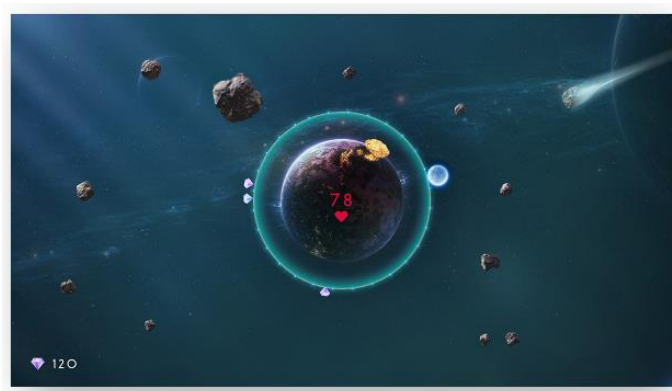
### Hra Fish – obtížnost 3/5



Obrázek 2.9 Hra Fish

Cílem hry je vyhnout se větším rybám, než je hráč samotný a požírat menší ryby a tím nabývat na váze, dokud se hráč nestane největší rybou. Hra je vhodná především pro děti, které v této hře musí rozpoznávat velikosti a tvary.

### Hra Planet defence – obtížnost 3/5



Obrázek 2.10 Hra Planet defence

Cílem hry je chránit planetu před zničením asteroidy pomocí měsíce, který obíhá kolem planety. Tato hra je odlišná tím, že na rozdíl od jiných her je vizualizována jako pohyb po kružnici.

V současné době ještě probíhají klinické studie, které nebyly zcela zveřejněny. Nespornou výhodou zařízení SunBall je bezpečné, neinvazivní a zábavné cvičení, které podporuje pozornost a motivaci pacienta. Není omezeno věkem, ani různými handicapy. Další výhodou je dostupnost zařízení v České republice v Praze a v Brně a také možnost zapůjčení na domácího použití.

Z tohoto článku je zřejmé, že jednoduchým a zábavným způsobem, jako je hraní počítačových her, mohou především děti či lidé s jakýmkoliv handicapem trénovat svoji soustředěnost a motoriku, na základě zpětné vazby, a zlepšovat se. Jedna z nejtěžších her je hra Cars, kdy uživatel ovládá dvě auta, každé jednou rukou. Hra je velice náročná, jak na synchronizaci a koordinaci rukou, tak na soustředění se.

### **Využití metody biofeedbacku založené na synchronizaci hemisfér při efektivním učení [13]**

**Název:** Employing a Biofeedback Method Based on Hemispheric Synchronization in Effective Learning

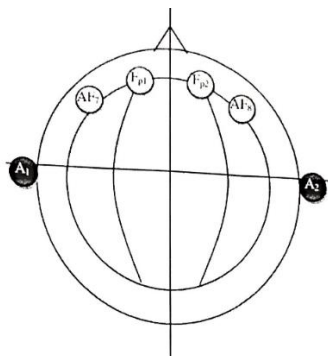
**Autor:** KASZUBA, Katarzyna; KOSTEK, B.

**Publikace:** Human–Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications 2. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 295-309.

Článek představuje nový přístup k efektivnímu učení pomocí biofeedbackové metody, založené na hemisférické synchronizaci. Záznamy byly provedeny na čtyřech

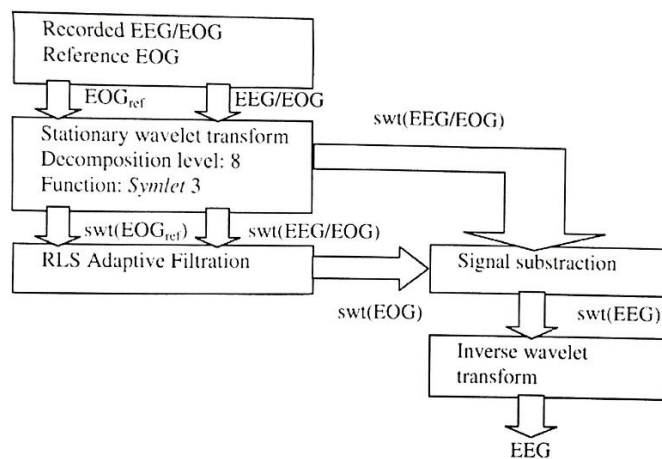


individuálních subjektech – tři muži a jedna žena, v průměrném věku 24 let. Systém čtyř bezdrátových elektrod nazýván Starlab Enobio, byl použit k poskytnutí maximálního pohodlí uživatelů.



Obrázek 2.11 Rozmístění bezdrátových elektrod Starlab Enobio

Aplikace využívá bezdrátový EEG nahrávací systém uživatelových mozkových vln a silný signál se zpracovává a vyhodnocuje k vytvoření spolehlivé zpětné vazby. Alfa a beta mozkové rytmy jsou analyzovány pomocí DWT (diskrétní transformace vln) a statisticky vypočítávány pro každé analyzované okénko, pomocí volně dostupné aplikace Brainstorm 3. EOG artefakty jsou eliminovány ze signálu díky adaptivní filtraci v časové frekvenční doméně. Jsou implementovány tři rozdílné metody učení: myšlenková mapa, kartičky a nelineární poznámky.



Obrázek 2.12 Diagram adaptivního filtračního procesu

Myšlenková mapa je řešení, které dovoluje proměnit vzdělávací téma v strukturovanou síť obsahující jednotlivý problém v každém uzlu zároveň s vizuálními a zvukovými symboly, které pomáhají se zapamatováním si znalostí. Uzly jsou uspořádány takovým způsobem, že centrální uzel obsahuje obecné téma, zatímco ty vzdálenější od centra obsahují více detailní informace.

Metoda kartiček umožňuje převést jednotlivé problémy do souboru otázek a odpovědí. Každá karta obsahuje otázku a odpověď, zároveň s odpovídajícím grafickým symbolem a zvukovou informací.

Metoda nelineárních poznámek je hlavně cílená na lidi, kteří preferují učení se pomocí čtení nebo psaní. Řešení je založeno na práci s textem – zvýrazňování části textu, přidávání klíčových slov do glosáře, vytváření extra poznámek a otázek založených na poznámkách.

Nejlepší výsledky byly zpozorovány s přítomností zvukové zpětné vazby. Zároveň se zjistilo, že uživatel se obvykle nemůže dostat do synchronizačního stavu během prvních 15 minut práce. Získané výsledky ukazují rozdíl mezi tradičním způsobem učení se a mezi využitím zpětné smyčky, znázorňující, že synchronizované hemisféry zlepšují učící schopnosti. Učení se pomocí implementovaných metod ukázalo lepší zapamatování si. Na znalosti nasbírané pomocí technických pomůcek si bylo velice jednoduché vzpomenout dokonce dva týdny po tom, co vzdělávací sekvence skončila. Zatímco znalosti, které byly naučené pomocí tradičních metod, měly tendenci k tomu, být rychleji zapomenuty.

Tento článek se zabývá rozdílnými způsoby metody učení se pomocí myšlenkové mapy, kartiček a nelineárních poznámek. Při použití biofeedbacku bylo zjištěno, že nejefektivnější učení je metoda kartiček s grafickým symbolem a zvukovou informací, oproti učení se tradičními metodami.

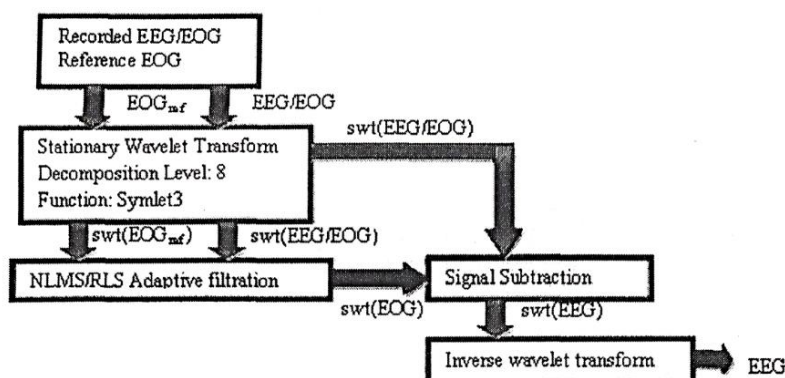
#### **Biofeedbackem založené mozkové hemisférické synchronizace využívající počítačové rozhraní [14]**

**Název:** Biofeedback-Based Brain Hemispheric Synchronizing Employing Man Machine Interface

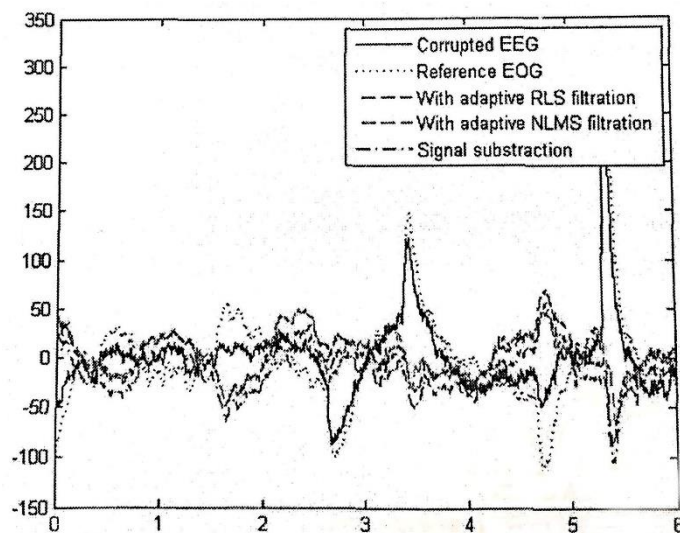
**Autor:** Katarzyna K., Krzysztof K., Piotr O., Bożena K.

**Publikace:** Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 6. Springer, Berlin, Heidelberg

V tomto článku je prezentován přístup k budování mozkového počítačového hemisférického synchronizačního systému. Synchronizační stav je zde zkoumán především z pohledu, který z mozkových rytů dominuje. Snížení beta pásma a zvýšení alfa pásma je požadovaný stav, jelikož představuje důkaz synchronizace hemisfér. Koncept využívá bezdrátové registrace a získávání signálu EEG a pokročilé metody předběžného zpracování a vliv artefaktů EOG na rozpoznávání stavů mozku.



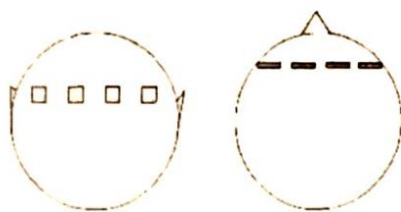
Obrázek 2.13 Blokové schéma odstranění EOG artefaktů z EEG signálu



Obrázek 2.14 Výsledky adaptivní filtrace a signálního odčítání šesti sekundového signálu

Zkoumáme dvě nezávislé metody detekce mozkových signálů. První metoda používá statistické parametry vypočítané pro celou nahrávku, zatímco druhá metoda je vypočtena pro různé délky časových oken. Všechny výpočty jsou prováděny pro signály offline, protože taková koncepce zaručuje lepší flexibilitu analýzy dat.

S ohledem na komfort a jednoduchost použití byl vybrán bezdrátový záznamový systém EEG. V tomto případě je bezdrátové řešení Enobio základem systému, dokáže zaznamenat čtyři signály z elektrod, nacházejících se na čele subjektu.



Obrázek 2.15 Lokalizace elektrod při použití zařízení Enobio

Pro registraci signálu bylo rozhodující, že subjekt zůstává klidný a nevytváří nepotřebné pohyby, protože by mohl narušit užitečné informace v signálu.

V prvním registračním scénáři bylo vyšetřeno pět subjektů (muži, průměrný věk přibližně 24 let). Každý subjekt se účastnil dvou nahrávek. Registrace signálu byla rozdělena do tří fází:

- 1 minuta bez stimulace
- 10 minut se stimulací
- 1 minuta po simulaci

Účastník testu seděl na židli se zavřenýma očima. Pro tento experiment byly vybrány dva různé stimulační signály. První část se uskutečnila pouze s binaurálními zvuky. Frekvence zvuku byla nastavena během stimulace pro zesílení alfa pásma. Druhá část rozšířila stimulační množinu danou v předchozím scénáři o izochronické a pulzní zvuky. Frekvence těchto zvuků byla dynamicky změněna. Alfa pásmo bylo zesíleno a ostatní vlny zeslabeny v obou experimentech.

Ve druhém registračním protokolu byly zaznamenány signály u čtyř individuálních subjektů (3 muži, 1 žena, průměrná věková skupina 24). V tomto případě byl protokol rozdělen do dvou následujících fází:

- první fáze: 15 minut při poslechu klasické hudby v sedu, zavřené oči
- druhá fáze: výpočet sady matematických příkladů v sedu, oči otevřené

Při prvním scénáři se předpokládalo, že by měly dominovat alfa vlny a že byla dosažena synchronizace hemisfér. Druhý scénář – výpočet matematických výrazů měl zvýšit aktivitu levé hemisféry, což vedlo ke zvýšení beta vln. Tato hypotéza byla potvrzena pomocí lokalizačních technik.

Tento článek se zabývá synchronizačním stavem hemisfér. Snížení beta pásma a zvýšení alfa pásma je požadovaný stav, jelikož představuje důkaz synchronizace hemisfér. V první fázi – při poslechu klasické hudby se zavřenýma očima, dominovaly alfa vlny, při druhé fázi – počítání matematických příkladů, byla aktivována levá hemisféra, což vedlo ke zvýšení beta vln. Optimální "využití mozku" může být zaručeno dělením procesu učení do aktivních (například počítání příkladů) a zlomových fází (relaxace u hudby), aby se obnovila plná funkčnost mysli.

## 2.1 Závěr rešerše

Rešerše se zabývá stávajícími zařízeními a možnostmi využití biofeedbacku. Dle výsledků studií bylo dokázáno, že zpětná vazba je důležitá pro zlepšení výsledků a výkonnosti. Autonomní fyziologické procesy se tak mohou přenést na vědomou úroveň a tyto naučené změny mohou tedy přetrvávat i nadále.

První článek ukazuje, jak se lze naučit ovládat pomocí EEG biofeedbacku své kortikální aktivity a díky tomu mít možnost se lépe naučit pracovat se svým mozkem [10].

V dalším článku představuji zařízení členku Neurosky EEG biosenzor, které nám pomáhá při použití biofeedbacku nalézt nejlepší míru soustředěnosti a zlepšit tak celkovou efektivnost učení se [11].

V následujícím článku se zabývám zařízením nazvané SunBall – dva nafouknuté míčky spojené se softwarem, které využívá interaktivních her ke zlepšení soustředěnosti a motoriky na základě zpětné vazby [12].

Dále porovnávám rozdílné způsoby metod učení se – pomocí myšlenkové mapy, kartiček a nelineárních poznámek. Bylo zjištěno, že efektivnější metoda učení je pomocí kartiček, oproti tradičních metod [13].

V posledním článku se pojednává o synchronizačním stavu hemisfér, kdy optimální "využití mozku" může být zaručeno dělením procesu učení do aktivních (například počítání příkladů) a zlomových fází (relaxace u hudby), pro obnovu plné funkčnosti mysli. [14]

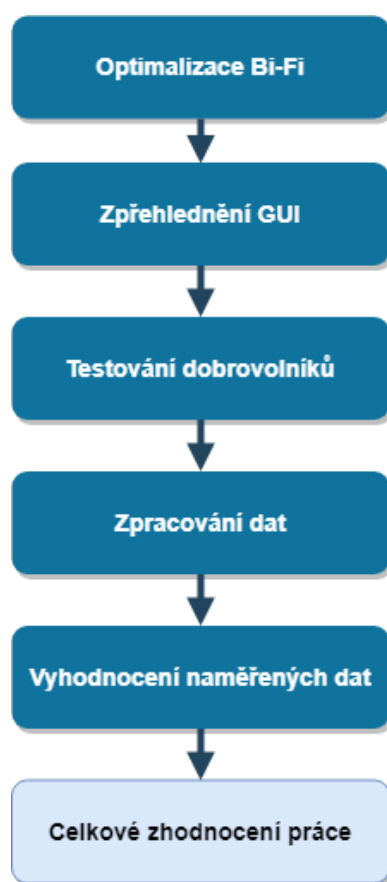
Z prostudovaných zařízení mě nejvíce zaujal SunBall, jelikož je využíván v praxi i v České republice a biofeedback je zde předáván formou hry, která motivuje v dalším zlepšování se.

Tyto poznatky budu moct využít ve své praktické části bakalářské práce, ve které budu pracovat se zařízením, jehož princip spočívá v synchronizaci hemisfér a využití biofeedbacku.

## 3 Praktická část

### 3.1 Návrh řešení

Pro účely mého testování je potřeba nejprve poupravit zařízení zvané Bi-Fi, které měří reakční dobu a zpřehlednit uživatelskou aplikaci, vytvořenou ve vývojovém prostředí LabView. Po dokončení úprav na Bi-Fi bude následovat týdenní testování dobrovolníků rozdílného věku i pohlaví. Budou vyhodnocovány naměřené výsledky a k ověření efektivnosti Bi-Fi bude sloužit kontrolní test, který bude proveden před zahájením testování na panelu i po ukončení. Ten prokáže, či vyvrátí, zda došlo ke zlepšení koordinace rukou a tím ke zlepšení propojení pravé a levé hemisféry. Závěr praktické části se bude věnovat celkovému zhodnocení bakalářské práce.

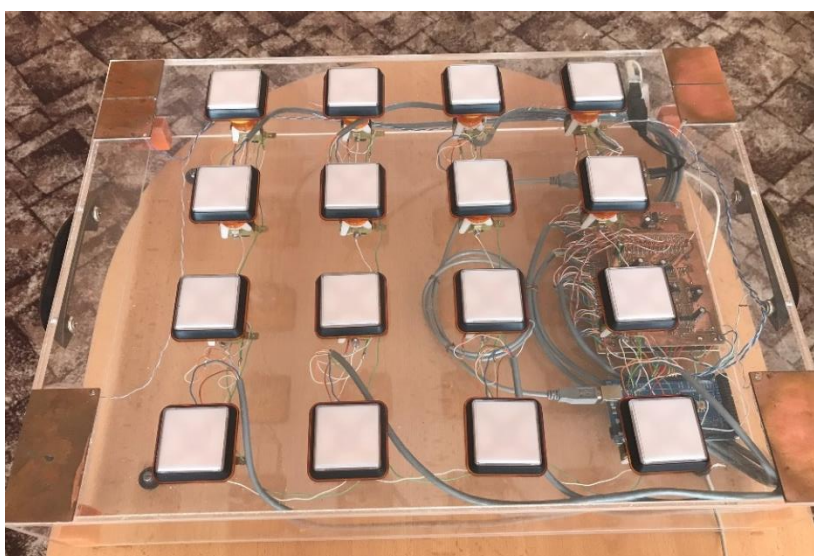


Obrázek 3.1 Schéma postupu práce

### 3.2 Stávající zařízení

Stávající hardware je robustní měřicí zařízení, které obsahuje 16 odolných podsvícených tlačítek, rozložených do formátu 4x4 a kovové plošky, které jsou vytvořeny pro výchozí polohu rukou.

Zařízení slouží k měření reakčních dob. Hardware je řízen mikrokontrolérem Arduino Mega 2560, který zajišťuje činnosti, jako je snímání kovových plošek, rozsvícení tlačítek, rozpoznání stisknutí tlačítka a měřicí algoritmy. Dále zasílá naměřená data pomocí sériové komunikace do software, který je vytvořen v prostředí LabView. To slouží k příjmu a částečnému zpracování naměřených dat, dle zvoleného programu v uživatelském rozhraní.



*Obrázek 3.2 Zařízení Bi-Fi*

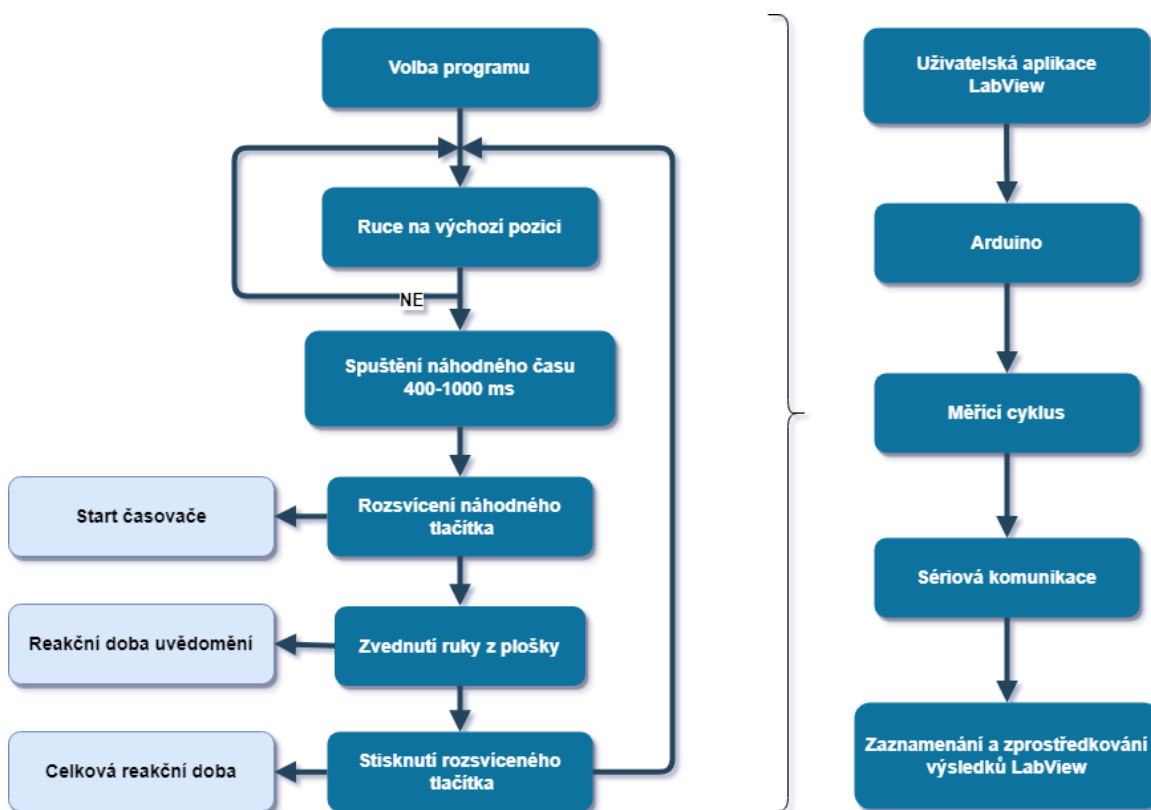
Mikrokontrolér má naprogramovány dva druhy měřících algoritmů:

### 3.2.1 Algoritmus nazvaný Diagnosta

Tento algoritmus slouží k měření jednoduché reakční doby. Princip měření spočívá v tom, že měřená osoba položí obě ruce do výchozí pozice na kovové plošky. V tomto okamžiku se spustí generování náhodného času na rozsvícení tlačítka. V momentě, kdy se rozsvítí první náhodné tlačítko, spustí se měření času, dokud uživatel nezareaguje zvednutím ruky z plošky, tzv. reakční doba uvědomění. Celková reakční doba se počítá od začátku rozsvícení tlačítka, do doby, než uživatel stiskne toto tlačítko.

### 3.2.2 Algoritmus nazvaný Choice

Tento algoritmus slouží k měření výběrové reakční doby. V tomto algoritmu se nachází navíc faktor rozhodování, kdy se na panelu objeví červeně nebo zeleně svítící tlačítko. Uživatel smí reagovat pouze na zeleně rozsvícené tlačítko. Měřená osoba tudíž musí rozlišit barvu rozsvíceného tlačítka a poté vyhodnotit, zda bude na tuto barvu reagovat zvednutím ruky a následného stisku tlačítka, či nebude.



Obrázek 3.3 Blokový diagram upraveného měřícího programu



### 3.3 Provedené úpravy na zařízení

#### 3.3.1 Redukce počtu tlačítek

Při testování dobrovolníků a vyhodnocování jejich dat bylo zpozorováno, že motorická reakce u některých stisků tlačítek je výrazně delší. Během identifikování příčiny, proč tomu tak je, bylo zjištěno, že prodloužení motorické reakce a tím pádem zkreslení celkové reakční doby přímo souvisí se vzdáleností tlačítek od výchozí pozice rukou.

Z původního počtu šestnácti tlačítek rozložených ve formátu 4x4 bylo tedy zachováno pouze osm, a to ve dvou řadách, nejbližší k pozici, kam se přikládají ruce.

Pro realizaci výše popisovaného řešení bylo nutné upravit zdrojový kód, řídící mikrokontrolér Arduino. Osm vzdálenějších tlačítek bylo deaktivováno.

#### 3.3.2 Zkrácení testovacího cyklu

Na základě biofeedbacku bylo zjištěno, že od druhé poloviny původního testovacího cyklu klesala dobrovolníkům reakční rychlost, což bylo zapříčiněno ztrátou pozornosti. Z tohoto důvodu byl zkrácen původní cyklus u základního programu Diagnóza – z padesáti rozsvícení tlačítek na třicet.

U programu Choice byl počet zredukován na dvacet cyklů stisknutí tlačítek, neboť prodloužení testování u tohoto programu způsobují náhodně rozsvěcující se červená tlačítka, která uživatel nesmí sepnout.

#### 3.3.3 Zrychlení frekvence rozsvěcování tlačítek

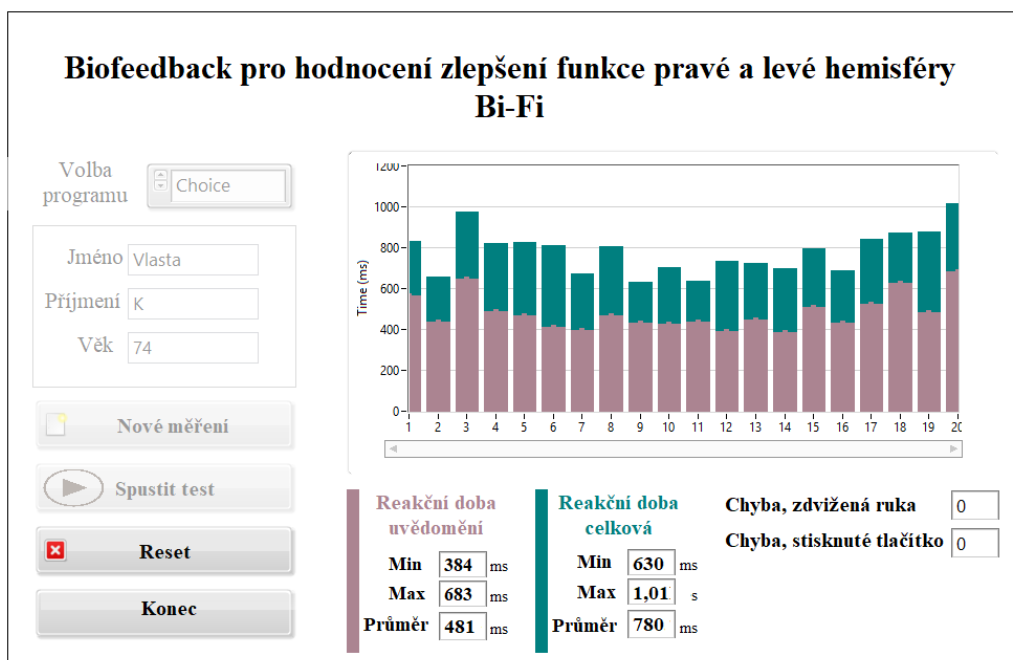
Reakční rychlost a ztráta pozornosti byla také přisuzována dlouhým pauzám, které nastávaly při opětovném rozsvícení tlačítka. Tato doba byla nastavena tak, aby se tlačítko rozsvítilo náhodně po přiložení rukou, v časovém intervalu od 1500-2500 ms.

Pro svižnější tempo a rychlejší spád měření byla doba rozsvícení zkrácena o více jak polovinu na náhodný čas, v intervalu 400-1500 ms.

Pro realizaci zrychlení frekvence rozsvěcování tlačítek a zkrácení testovacího cyklu byl opět upraven zdrojový kód řídícího mikrokontroléru Arduino.

### 3.4 Uživatelská aplikace

Uživatelský software byl vytvořen v uživatelském prostředí LabView. Před spuštěním aplikace se musí zapojit Bi-Fi do USB portu počítače. Poté je třeba spustit samotnou aplikaci s názvem *Bi-Fi\_aplikace.exe*. Po spuštění se zobrazí okno uživatelské aplikace.



Obrázek 3.4 Okno uživatelského software

- Uživatel si vybere program, který chce spustit. Na výběr má ze dvou typů testování: *Diagnosa* nebo *Choice* (viz kapitola 3.2.1 a 3.2.2 ).
- Dále vyplní své osobní údaje: jméno, příjmení a věk.
- Po kliknutí na tlačítko *Nové měření* se zobrazí dialogové okno, kam uživatel zadá cestu k uložení souboru a jeho název – defaultně je název souboru ve formátu: *Jméno Příjmení věk\_název zvoleného programu*.
- Tlačítkem *Spustit test* je zahájeno měření. Tlačítka v aplikaci, která nelze v průběhu testování používat, se zablokují a zešednou. Podmínkou pro spuštění rozsvěcování tlačítek na Bi-Fi jsou přiložené ruce na kovových ploškách.
- Po ukončení testovacího cyklu je možné použít tlačítko *Reset* a testovat další osobu, nebo ukončit aplikaci tlačítkem *Konec*.

#### 3.4.1 Provedené úpravy v aplikaci

Původní aplikaci bylo třeba zpřehlednit, zjednodušit a doplnit o další prvky, aby byla pro uživatele, který se setká s aplikací poprvé, co nejlépe intuitivní a usnadnila orientaci v ní.

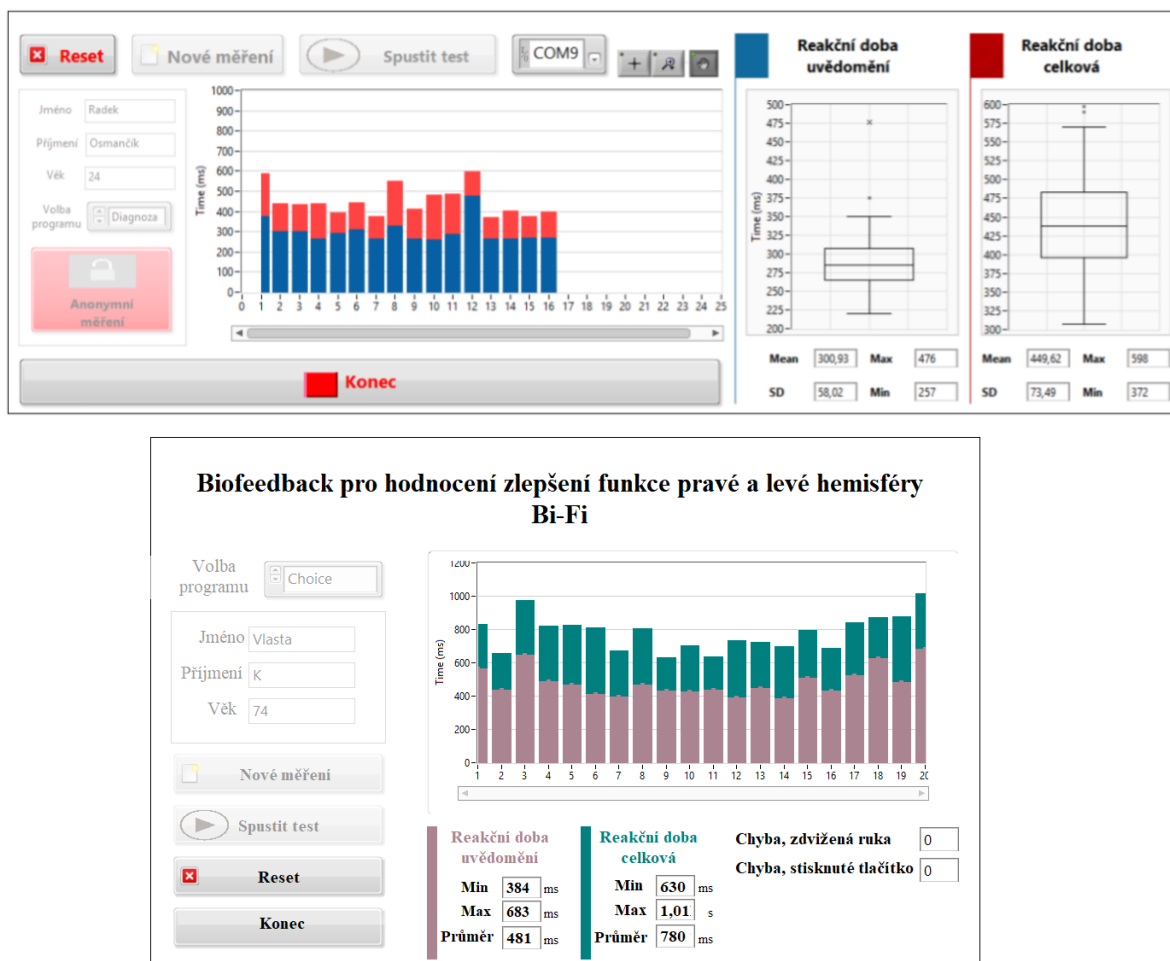
## Praktická část

V prvním kroku byla v aplikaci upravena pozice výběru programu, kolonky pro vložení informací o testové osobě a tlačítek. Všechny tyto prvky byly umístěny na levou stranu grafického prostředí a seřazeny v pořadí, v jakém musí obsluha zařízení postupovat. Byla zrušena možnost anonymního měření, protože věk a jméno osoby jsou nezbytné pro vyhodnocení výsledků.

Dalším krokem bylo zrušení box plotu v pravé části aplikace, aby vznikl větší prostor pro sloupcový graf, který je pro biofeedback stěžejní. Pod graf byla přesunuta legenda, která zahrnuje minimální, maximální a průměrnou hodnotu, jak pro reakční dobu uvědomění, tak i pro celkovou reakční dobu.

Poslední úpravou v aplikaci bylo přidání prvku – Chyba, zdvižená ruka a Chyba, stisknuté tlačítko, které jsou aktivní při programu Choice, když testovaná osoba zvedne ruku, při rozsvícení červeného tlačítka nebo když nesprávně červené tlačítko stiskne. Poslední drobné změny byly v barvě grafu a přidání nadpisu.

Porovnání staré a nové verze aplikace jsou zobrazeny v obrázku níže:



Obrázek 3.5 Původní grafické prostředí [18] vs. nové

### 3.5 Návrh testování osob

Celkem bude otestováno osm osob, různého věku a pohlaví. Před zahájením testování na Bi-Fi budou dobrovolníci požádáni o nakreslení kruhů a čtverců současně oběma rukama. Dále subjekty napíší své jméno nedominantní rukou, jak tiskacím písmem, tak psacím. Z teorie víme, že při pohybu obou rukou zároveň člověk propojuje činnost obou hemisfér. Mozek je tak nejlépe využíván.

Testování subjektů bude probíhat denně po dobu sedmi dní. K testování bude využit program Diagnosa (viz kapitola 3.2.1). Tento program byl vybrán, protože testuje jednoduchou reakční dobu. Každé testování bude rozděleno na tři fáze. V první fázi může dobrovolník používat obě ruce, dle vlastní volby. V druhé fázi může testovaný subjekt používat pro stisknutí rozsvíceného tlačítka pouze pravou ruku. V poslední fázi testování naopak může používat pouze ruku levou. Opět z teorie víme, že cvičením pro každou ruku zvlášť, především tréninkem nedominantní ruky, můžeme zlepšit spolupráci hemisfér. Protože hardware není schopen rozeznat, kterou ruku subjekt použije, musí kontrolu provádět obsluha přístroje.

Po ukončení týdenního testování bude provedeno vyhodnocení naměřených hodnot. Dobrovolníci budou požádáni o opětovné nakreslení kruhů a čtverců současně a o podpis nedominantní rukou.

Předpokládám, že pomocí opakovaného měření a testování se prokáže, že zpětná vazba je důležitá pro zlepšení výsledků a výkonnosti testované osoby. Vyhodnocování proběhne pomocí grafického zpracování dat, u kterého je na první pohled zřejmé, zda nějaký posun u testované osoby proběhl. Dále budou porovnány nakreslené kruhy, čtverce a podpisy z počátečního a závěrečného testování. Celý komplex testů by měl vést ke zlepšení propojení hemisfér, a celkově ke zlepšení kognitivních funkcí.

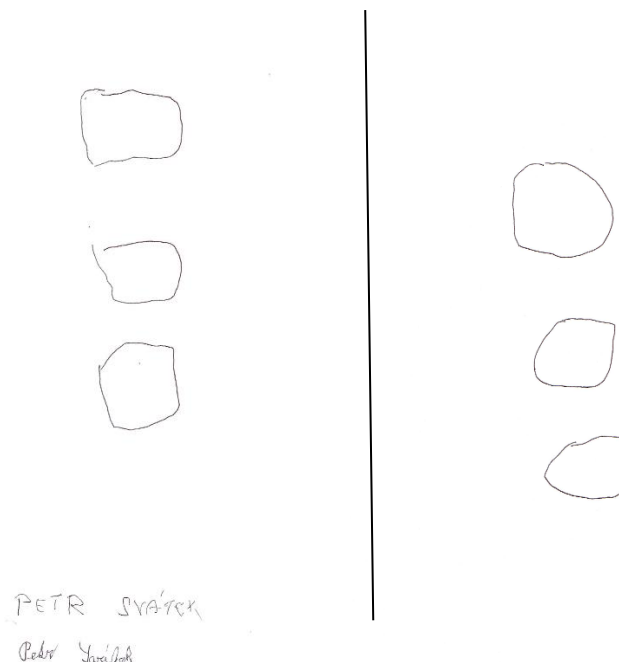
### 3.6 Průběh testování

Bylo provedeno testování celkem na osmi osobách – čtyři muži, čtyři ženy, rozdělení do tří věkových kategorií. Největší podíl testovaných osob byl ve věku kolem padesáti let. V 0 Tabulka 3.1 Přehled testovaných osob je uveden seznam všech testovaných subjektů.

*Tabulka 3.1 Přehled testovaných osob*

Pořadí	Jméno	Věk	Pohlaví	Dominantní ruka
1.	Zdeňka D	22	žena	pravá
2.	Petr S	25	muž	pravá
3.	Kamila R	49	žena	pravá
4.	Radim R	50	muž	pravá
5.	Zdeňka G	52	žena	pravá
6.	Martin D	54	muž	pravá
7.	Bohumila D	75	žena	pravá
8.	Jiří D	79	muž	pravá

Před začátkem testování na zařízení Bi-Fi byl u všech dobrovolníků proveden úvodní test, který zahrnoval nakreslení kruhů a čtverců oběma rukama zároveň. Volba, zda budou nedominantní rukou kreslit čtverce či kolečka, bylo na jejich uvážení. Dále byli požádáni o napsání svého jména tiskacím a psacím písmem nedominantní rukou.



Obrázek 3.6 Příklad úvodního testu

Po úvodním testu následovalo týdenní testování na zařízení. Testy probíhaly každý den a zahrnovaly testování programem Diagnosa. Nejprve mohli subjekty použít pro stisknutí tlačítek obě ruce dle svého uvážení, druhé kolo testování používali pouze levou ruku a v poslední fázi zase jen pravou ruku.

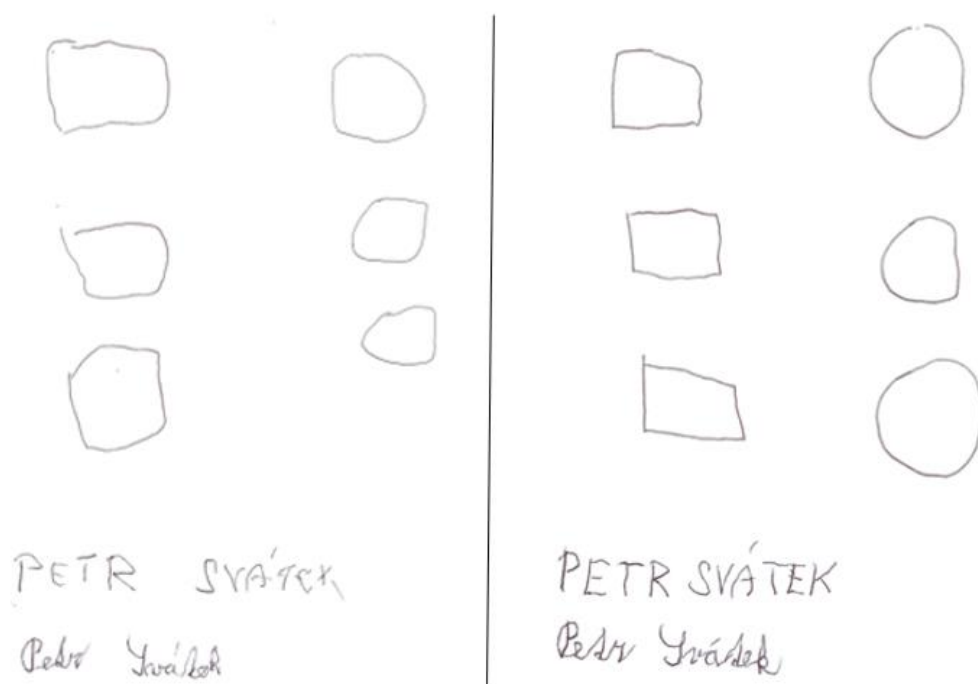
Po ukončení testování byl proveden závěrečný test, který byl totožný s testem úvodním.

### 3.7 Výsledky testování

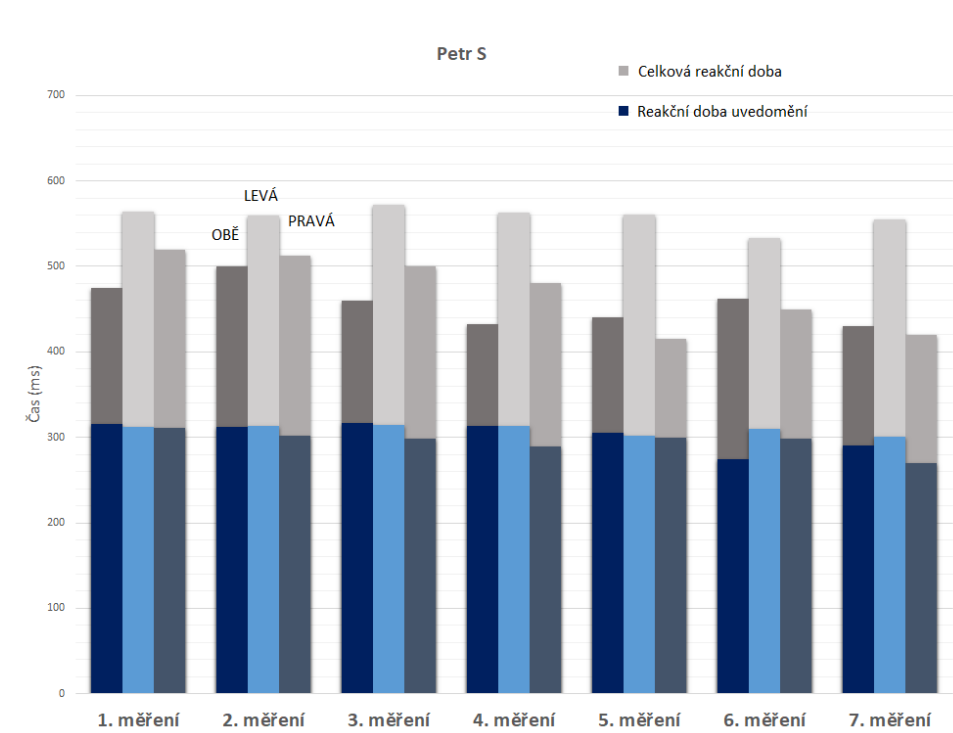
Bi-Fi měří celkovou reakční dobu – ta se skládá z doby uvědomění a motorické reakce. Reakční doba uvědomění je zde měřena jako čas, který uplyne od rozsvícení tlačítka, do momentu, než uživatel zareaguje zvednutím ruky z plošky. Motorická reakce je čas, který uběhne od zvednutí ruky z plošky, po stisknutí tlačítka. Pro účely vyhodnocení výsledků testování byly vybrány čtyři osoby.

#### 3.7.1 První testovaná osoba – muž 25 let

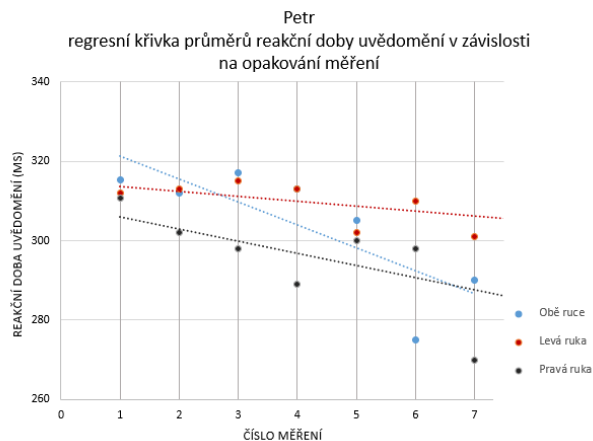
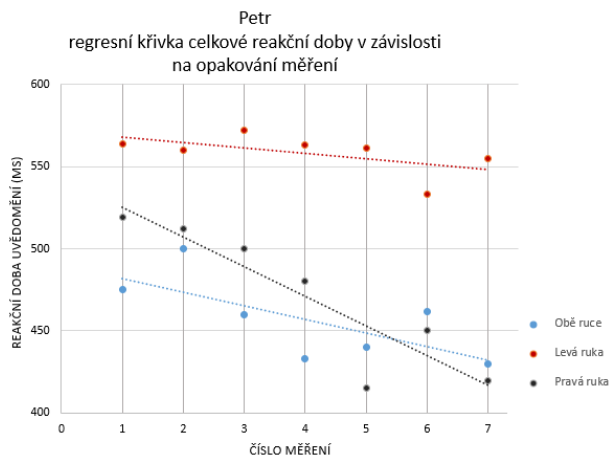
První testovaná osoba byl muž ve věku 25 let. Dle výsledků na zařízení Bi-Fi je patrné, že došlo k výraznému zlepšení u pravé ruky, nejenom v reakční době uvědomění, ale i v reakční době celkové. Pokud subjekt používal ke stisknutí tlačítka obě ruce, lze si povšimnout, že reakční doba uvědomění zůstala téměř stejná jako u levé a pravé ruky, ale motorická reakce je zde ze všech nejkratší. U levé ruky došlo pouze k nepatrnému zlepšení a je zde zřejmá delší motorická reakce.



Obrázek 3.7 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Petr 25 let



Obrázek 3.8 Graf výsledků měření – Petr 25 let



Obrázek 3.9 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvědomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Petr

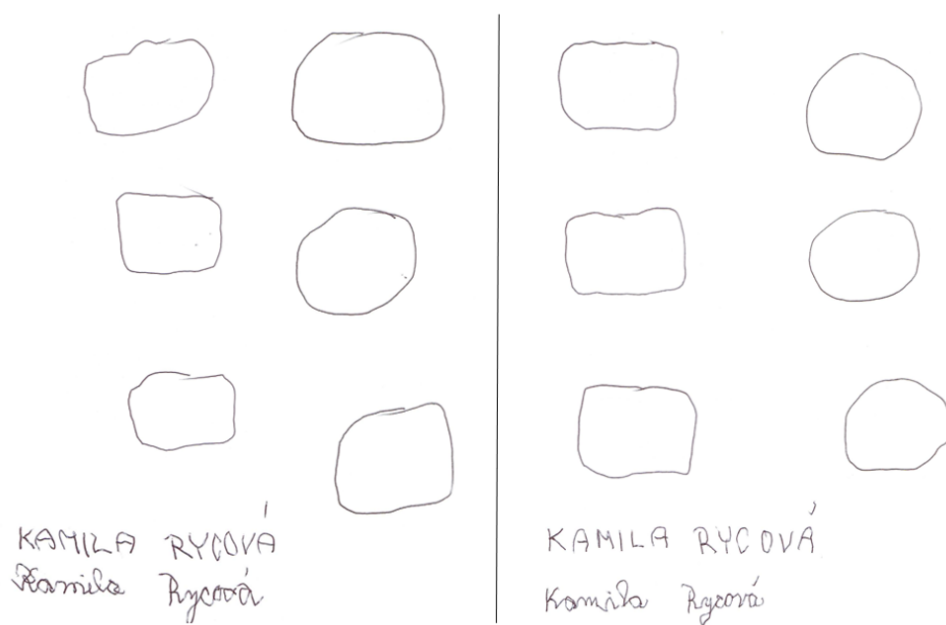
Dle obrázku srovnání úvodního a závěrečného testu je prokazatelné, že po týdenním testování a tréninku došlo ke zlepšení motorických funkcí nedominantní ruky. Toto můžeme pozorovat na jistějším tahu při tiskacím podpisu a můžeme tak soudit, že došlo k většímu zapojení a zlepšení pravé hemisféry.

Toto srovnání, průběžné výsledky a závěr byly prezentovány testovanému subjektu, jako zpětná vazba.

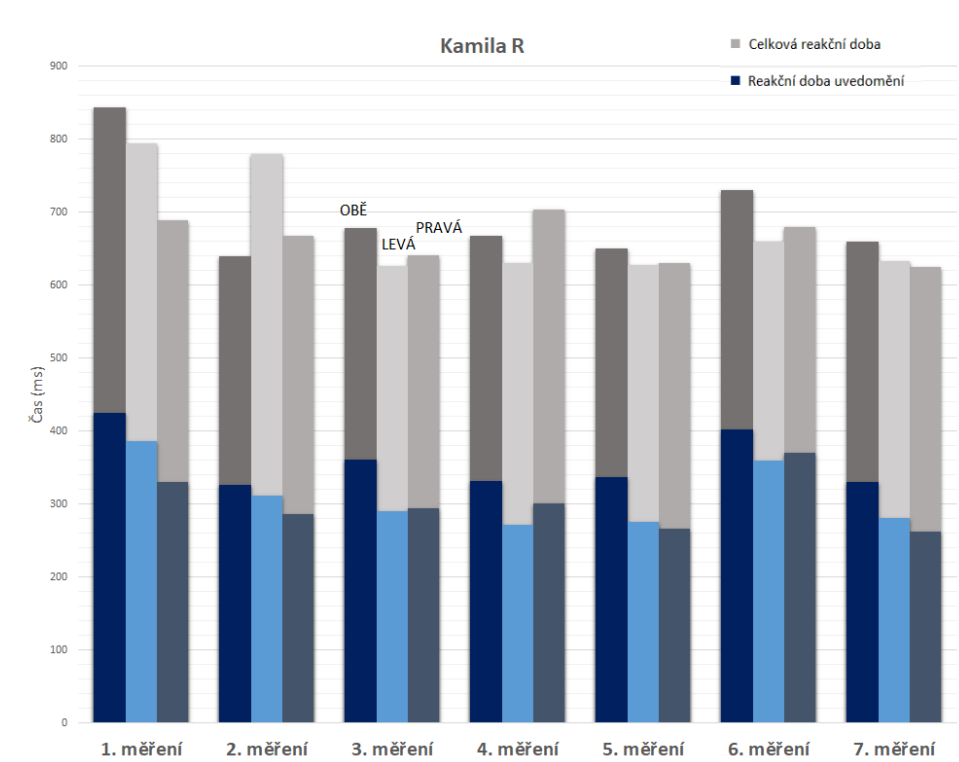
### 3.7.2 Druhá testovaná osoba – žena 49 let

Druhá testovaná osoba byla žena ve věku 49 let. Reakční doba uvědomění a motorická reakce jsou zhruba 1:1. U šestého měření bylo poznačeno, že Kamila se cítí unavená. Vliv únavy u 6. měření můžeme pozorovat na reakční době uvědomění, která se oproti ostatním měření viditelně zvýšila. V grafu si lze také povšimnout, že reakční doba uvědomění byla výrazně vyšší, pokud dobrovolnice mohla používat obě ruce. Subjektu dělalo problém, rozhodnout se, kterou ruku použije, zatímco u rukou, kdy používala jen jednu, to bylo jasně dané. Ze srovnání úvodního a závěrečného testu můžeme vyvozovat, že se subjekt zlepšil.

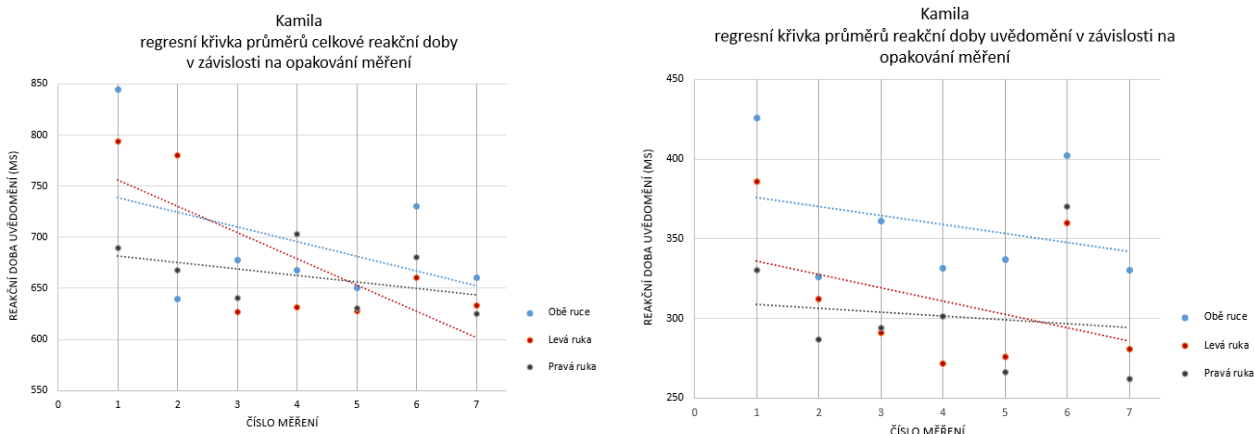




Obrázek 3.10 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Kamila 49 let



Obrázek 3.11 Graf výsledků měření – Kamila 49 let

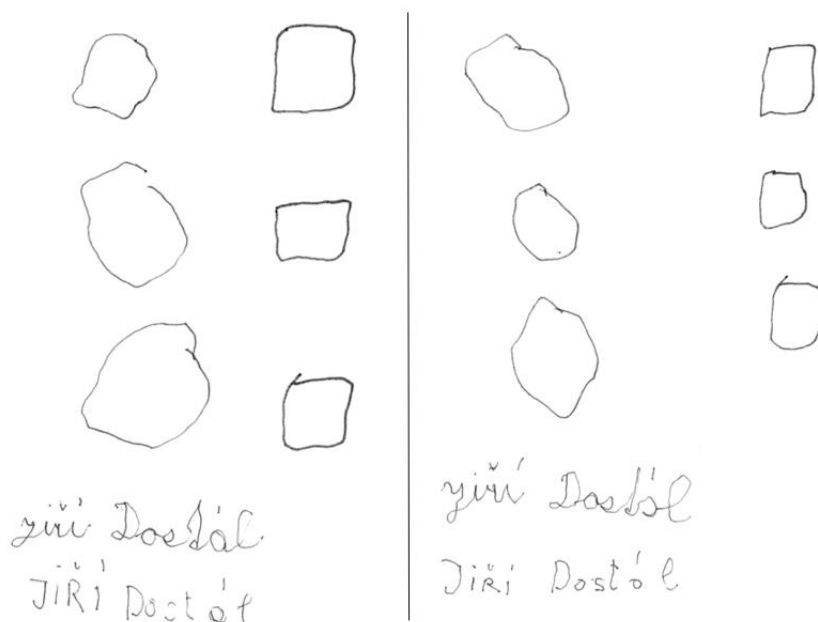


Obrázek 3.12 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvědomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Kamila

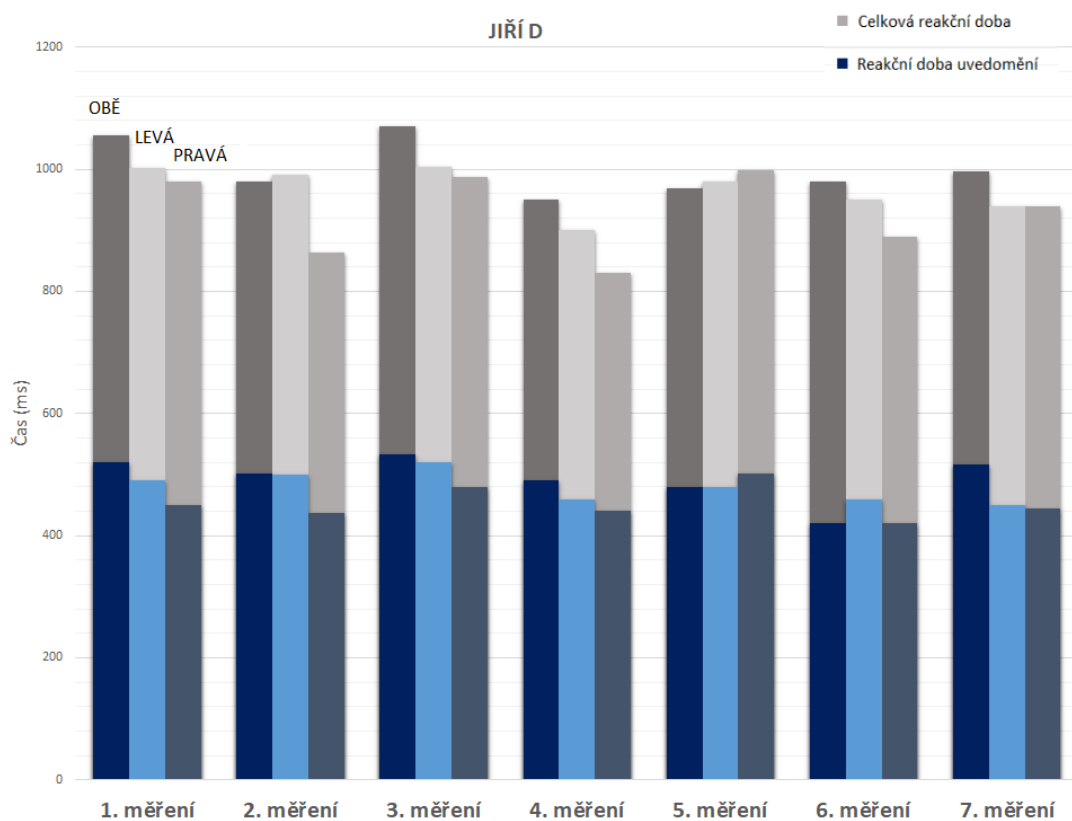
### 3.7.3 Třetí testovaná osoba – muž 79 let

Třetí testovanou osobou byl důchodce Jiří, kterému je 79 let.

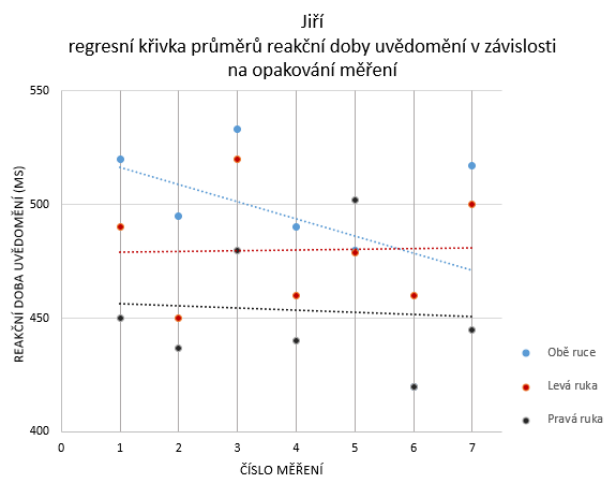
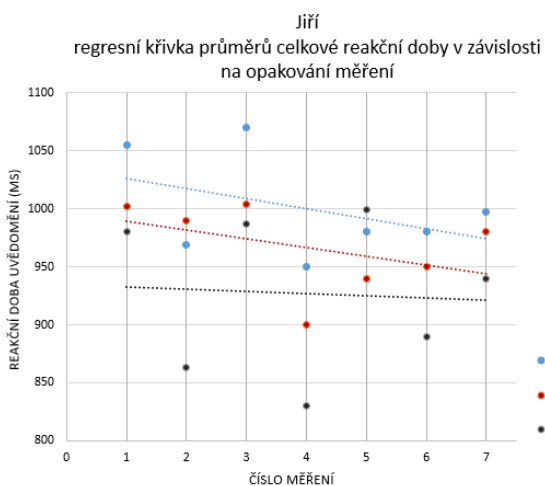
Jako jediný z testovaných dobrovolníků téměř nedosáhl zlepšení. To lze zpozorovat na úvodním i závěrečném testu, které se téměř neliší a nelze poznat, co bylo kresleno před tréninkem a co po. Jeho výsledky jsou nejhorší z celé testované skupiny, jako jediný přesáhl hodnotu 1 sekundy od rozsvícení tlačítka po jeho stisknutí. V porovnání s první testovanou osobou Petrem 25 let, jsou hodnoty celkové reakční doby i dvojnásobné.



Obrázek 3.13 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Jiří 79 let



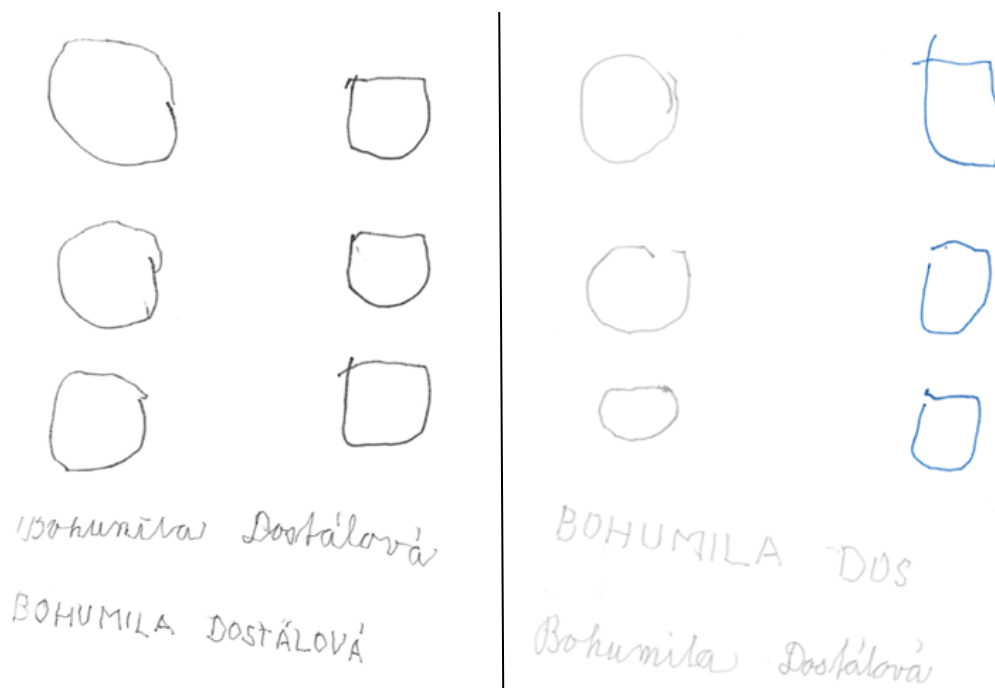
Obrázek 3.14 Graf výsledků měření – Jiří 79 let



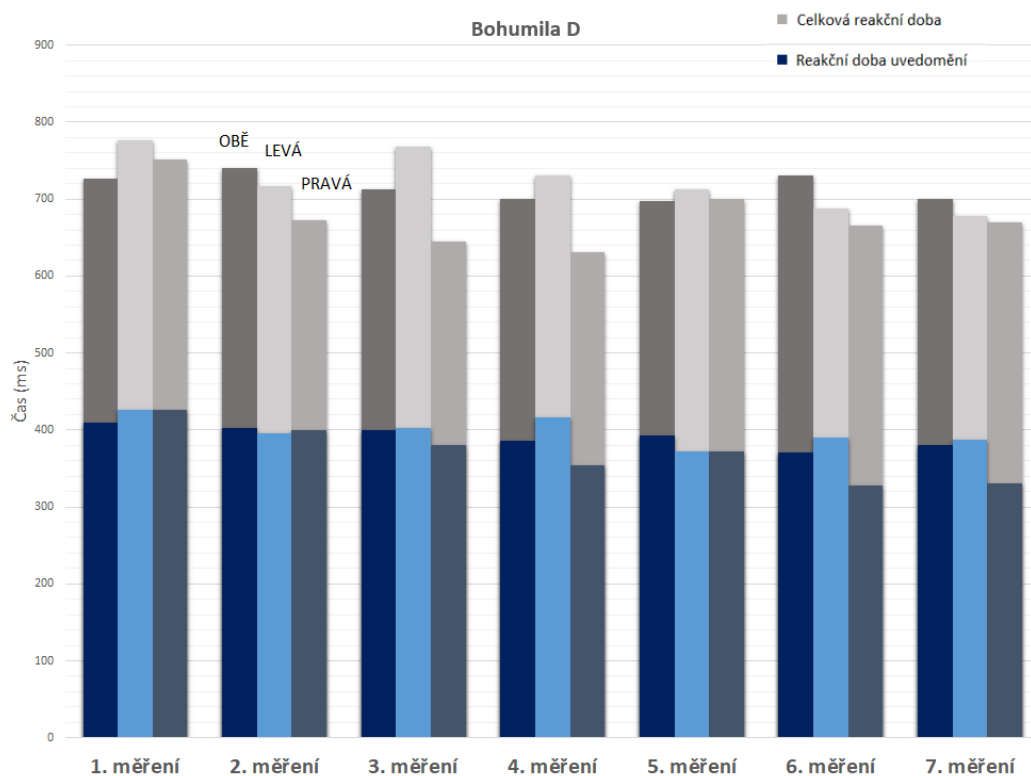
Obrázek 3.15 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvedomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Jiří

### 3.7.4 Čtvrtá testovaná osoba – žena 75 let

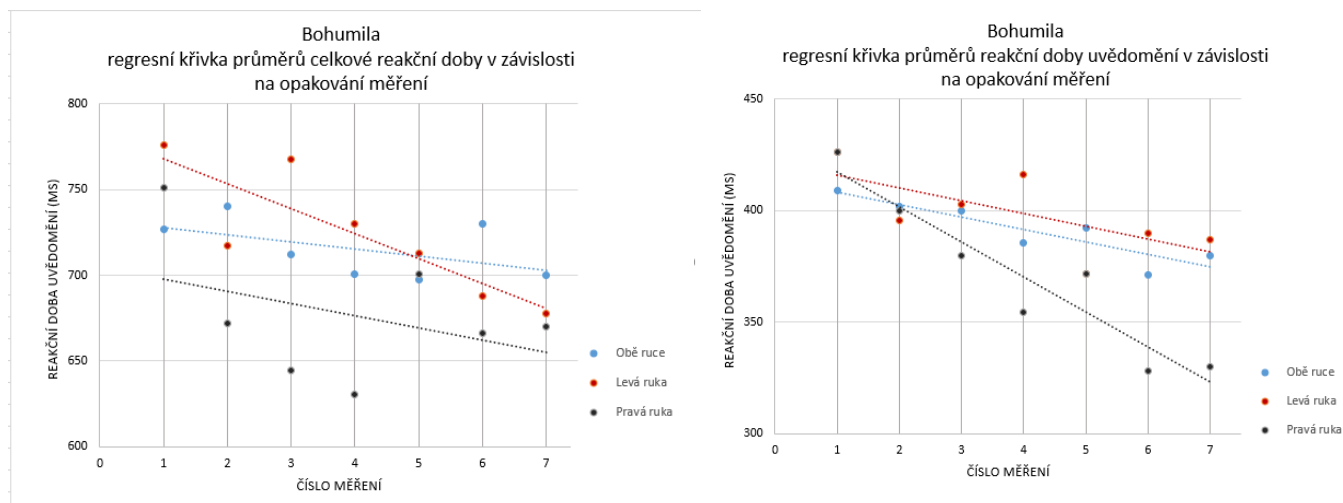
Čtvrtou testovanou osobu a poslední osobou z výběru je Bohumila. I přes její pokročilý věk lze vidět nepatrné zlepšení na úvodním a závěrečném testu. Zlepšení lze pozorovat i ve zpracovaném grafu. Pokud provedeme srovnání v rámci věkové kategorie s Jiřím, jsou její výsledky téměř o 30 % lepší.



Obrázek 3.16 Srovnání úvodního a závěrečného testu – Bohumila 75 let



Obrázek 3.17 Graf výsledků měření – Bohumila 75 let



Obrázek 3.18 Regresní křivky srovnání celkové reakční doby a reakční doby uvědomění v závislosti na opakování měření pro obě ruce, levou a pravou – Bohumila

### 3.7.5 Shrnutí výsledků všech testovaných osob

V následující tabulce byly zpracovány průměrné výsledky měření všech testovaných osob. Je zde uvedena reakční doba uvědomění a motorická reakce. Pokud tyto dvě hodnoty sečteme, dostaneme reakční dobu celkovou.

Z naměřených hodnot vyplývá, že se zvyšujícím věkem se zpomaluje reakční doba uvědomění, a především se prodlužuje motorická reakce. Toto je graficky znázorněno v regresních křivkách průměrů celkových reakčních dob a uvědomění, které jsou zpracovány v Obrázek 3.19. Z celkového reakčního času by měl přibližně 70 % tvořit čas potřebný pro vizuální percepci stimulu, dalších 30 % motorická odezva. K těmto hodnotám se přibližují pouze Zdeňka D (22 let) a Petr S (25 let). U zbylých testovaných osob tento poměr není.

Z tabulky je také patrné, že muži mají kratší motorickou reakci. Toto bylo patrné již při průběhu měření, kdy muži použili větší fyzickou sílu, při snaze co nejrychleji stisknout rozsvícené tlačítko.

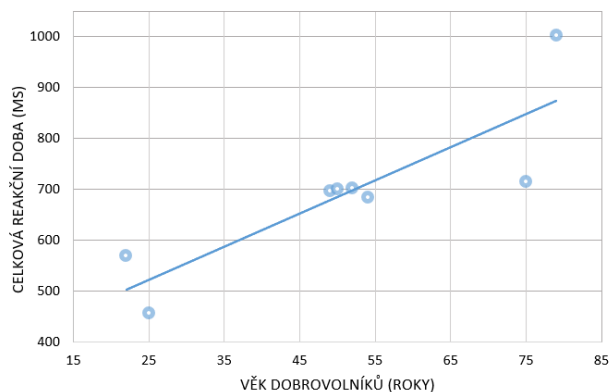
Z výsledků je zřejmé, že pravidelným trénováním lze dosáhnout zlepšení kognitivních funkcí i během pouhého týdne. Toto zlepšení má nepřímou úměru s věkem. S přibývajícím věkem je zlepšení méně patrné.

*Tabulka 3.2 Srovnání průměrných hodnot všech dobrovolníků měření, seřazeno dle věku*

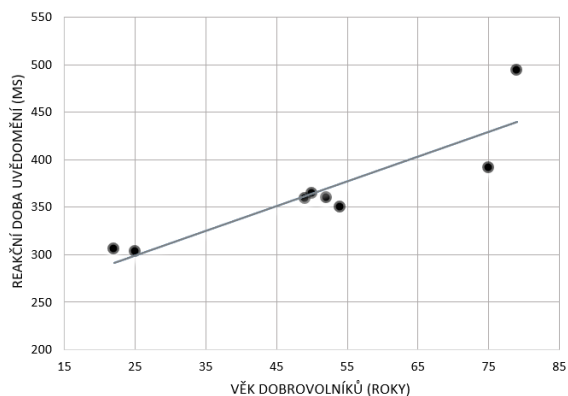
Jméno a věk	OBĚ RUCE			LEVÁ RUKA			PRAVÁ RUKA		
	RD UVĚDOMĚNÍ	MOTORICKÁ REAKCE	RD CELKOVÁ	RD UVĚDOMĚNÍ	MOTORICKÁ REAKCE	RD CELKOVÁ	RD UVĚDOMĚNÍ	MOTORICKÁ REAKCE	RD CELKOVÁ
Zdeňka D (22)	306	264	570	318	284	602	303	245	548
Petr (25)	304	153	457	309	249	558	292	179	471
Kamila (49)	359	337	696	311	368	679	302	361	662
Radim (50)	365	335	700	354	316	670	350	305	655
Zdeňka G (52)	360	342	702	350	305	655	307	363	670
Martin (54)	350	334	684	345	321	666	343	306	649
Bohumila (75)	391	324	715	399	326	724	371	305	676
Jiří (79)	495	507	1001	480	487	967	453	474	927

## Praktická část

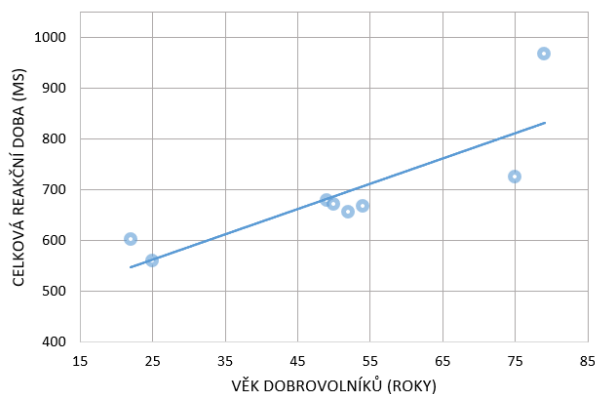
Regresní křivka průměrů celkových reakčních dob pro obě ruce závislá na věku



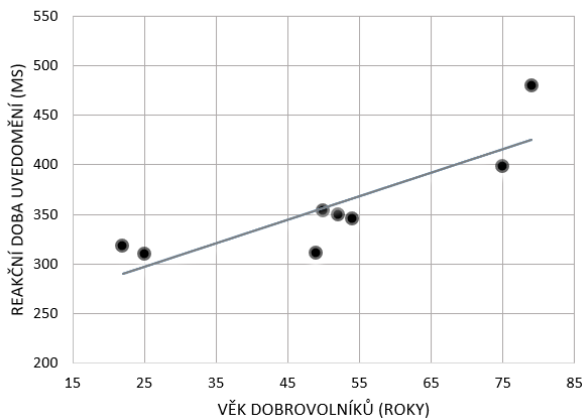
Regresní křivka průměrů reakční doby uvědomění pro obě ruce závislá na věku



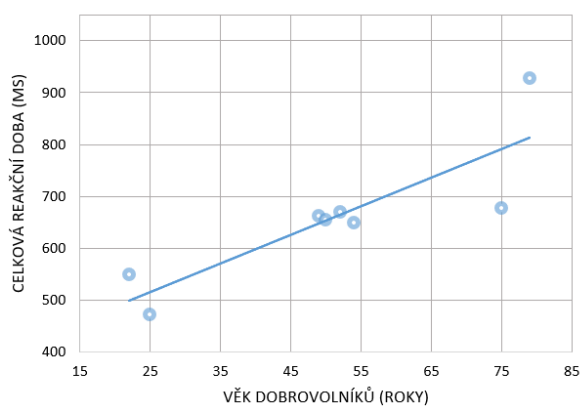
Regresní křivka průměrů celkových reakčních dob pro levou ruku závislá na věku



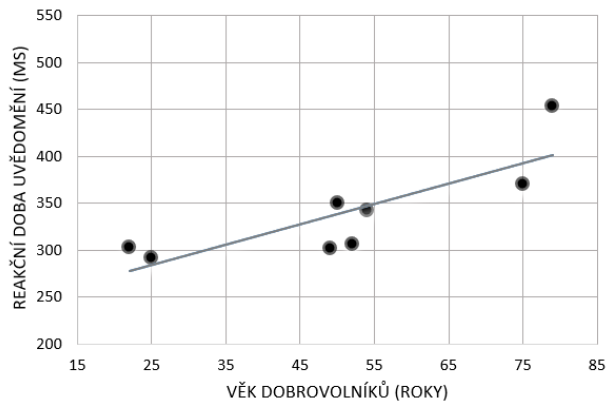
Regresní křivka průměrů reakční doby uvědomění pro levou ruku závislá na věku



Regresní křivka průměrů celkových reakčních dob pro pravou ruku závislá na věku



Regresní křivka průměrů reakční doby uvědomění pro pravou ruku závislá na věku



Obrázek 3.19 Regresní křivky průměrů celkových reakčních dob a reakční doby uvědomění pro obě ruce, pravou a levou ruku v závislosti na věku testovaných dobrovolníků

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo ověřit, zda lze pravidelným trénováním zlepšit propojení pravé a levé hemisféry.

Dle rešeršních publikací a výsledků studií bylo dokázáno, že zpětná vazba je důležitá pro zlepšení výsledků a výkonnosti. Autonomní fyziologické procesy se tak mohou přenést na vědomou úroveň a tyto naučené změny mohou tedy přetrvávat i nadále.

Pro ověření výsledků studií bylo otestováno celkem osm osob, různého pohlaví a věku. Při testování dobrovolníků a vyhodnocování jejich dat bylo postupně zjištěno, že zařízení je třeba poupravit. Úpravy spočívaly ve zkrácení testovacího cyklu – dlouhé pauzy, které nastávaly při opětovném rozsvícení tlačítka, vedly nejen ke klesající reakční rychlosti, ale i ke ztrátě pozornosti a tím vznikalo zkreslení výsledků. Doba náhodného intervalu rozsvícení tlačítka byla tedy zkrácená o více jak polovinu.

Další úprava byla redukce počtu tlačítek z původních šestnácti na osm, nejbližší k výchozí pozici rukou. Motorická reakce testovaných osob se tak výrazně urychlila. Nutno bylo také zpřehlednit a zjednodušit uživatelskou aplikaci.

Testování probíhalo týdenním testováním na zařízení Bi-Fi. Před měřením na zařízení dobrovolníci podstoupili úvodní test, který zahrnoval nakreslení kruhů a čtverců oběma rukama zároveň a také napsání svého jména nedominantní rukou. Stejný test absolvovali také po ukončení týdenního tréninku na Bi-Fi. Oba testy pak byly použity pro srovnání, zda došlo ke zlepšení propojení hemisfér.

Nejlepších výsledků dosahovaly osoby ve věku 22 a 25 let. S rostoucím věkem se celková reakční doba zpomalovala a také se prodlužovala motorická reakce. Dle grafického zpracování dat i úvodního a závěrečného testu nedošlo u nejstarší testované osoby k žádnému zlepšení.

Bylo ověřeno, že zařízení může být použito pro zlepšení kognitivních funkcí člověka, jako podpůrná a zábavná léčba, například při rehabilitaci neurologických onemocnění.

Námětem pro další práci může být úprava zařízení, kde budou tlačítka menší a blíže u sebe, aby došlo ke zkrácení motorické reakce. Celková velikost zařízení bude menší, zařízení se tak stane kompaktnějším. Dále by bylo vhodné rozšířit věkovou skupinu testovaných a také například sledovat rozdíly u osob, jejichž dominantní ruka je levá.



## Použitá literatura

- [1] JENSEN, Eric. Teaching with the brain in mind. 2nd ed., rev. and updated. Alexandria, Va.: Association for Supervision and Curriculum Development, c2005. ISBN 9781416600305.
- [2] OREL, Miroslav a Věra FACOVÁ. Člověk, jeho mozek a svět. Praha: Grada, 2009. Psyché (Grada). ISBN 9788024726175.
- [3] NICHOLLS, John G. Od neuronu k mozku. Praha: Academia, 2013. ISBN 9788020021557.
- [4] KOUKOLÍK, František. Lidský mozek: funkční systémy: norma a poruchy. 2. aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Portál, 2002. ISBN 8071786322.
- [5] STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie. Praha: Portál, 2002. ISBN 8071783765.
- [6] CORBALLIS, Michael C. Left Brain, Right Brain: Facts and Fantasies. PLoS Biology. 2014, 12(1). DOI: 10.1371/journal.pbio.1001767. ISSN 1545-7885. Dostupné také z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pbio.1001767>
- [7] MCKEE, M. G. Biofeedback: an overview in the context of heart-brain medicine. DOI: 10.3949/ccjm.75.Suppl\_2.S31. ISBN 0891-1150. Dostupné také z: [http://www.ccjm.org/cgi/doi/10.3949/ccjm.75.Suppl\\_2.S31](http://www.ccjm.org/cgi/doi/10.3949/ccjm.75.Suppl_2.S31)
- [8] FRANK DL, KHORSHID L, KIFFER JF, MORAVEC CS a MCKEE MG. Biofeedback in medicine: who, when, why and how?. Mental Health In Family Medicine [online]. 2010, 7(2), 85-91 [cit. 2018-08-29]. ISSN 17568358. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cmedm&an=22477926&scope=sit e>
- [9] Biofeedback Therapy: An Overview. US Pharmacist [online]. Department of Pharmacy, Alta Bates Summit Medical Center Berkeley, California: M. Saljoughian, 2018, 17. srpna 2018 [cit. 2018-09-20]. Dostupné z: <https://www.uspharmacist.com/article/biofeedback-therapy-an-overview>
- [10] MOHR, Bettina; PULVERMÜLLER, Friedemann; SCHLEICHERT, Hans. Learned changes of brain states alter cognitive processing in humans. Neuroscience letters, 1998, 253.3: 159-162.
- [11] TABAKCIOĞLU, Mehmet; ÇIZMECI, Hüseyin; AYBERKIN, Doruk. Neurosky EEG Biosensor Using in Education. International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 2016, 4.Special Issue-1: 76-78.
- [12] SunBall Guide [online]. Brno: Gradient Labs, 2018 [cit. 2018-10-9]. Dostupné z: <https://sunapp.io/manual/cz/>
- [13] KASZUBA, Katarzyna; KOSTEK, B. Employing a biofeedback method based on hemispheric synchronization in effective learning. In: Human-Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications 2. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 295-309.

- [14] KATARZYNA, Kaszuba, Kopaczewski KRZYSZTOF, Ody PIOTR a Kostek BOŽENA. Biofeedback-Based Brain Hemispheric Synchronizing Employing Man-Machine Interface. TSIHRINTZIS, George A., Ernesto DAMIANI, Maria VIRVOU, Robert J. HOWLETT a Lakhmi C. JAIN, ed. Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, 2010, s. 59-68 [cit. 2018-10-14]. Smart Innovation, Systems and Technologies. DOI: 10.1007/978-3-642-14619-0\_7. ISBN 978-3-642-14618-3. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14619-0\\_7](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14619-0_7)
- [15] KHAZAN, Inna Z. The clinical handbook of biofeedback: a step by step guide for training and practice with mindfulness. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2013. ISBN 978-1119993711.
- [16] STRAUS, Jiří. Prodloužení reakční doby v závislosti na hladině alkoholu. Ministerstva vnitra České republiky [online]. Policejní akademie ČR v Praze: Katedra kriminalistiky, 2010 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/prodlouzeni-reakcni-doby-v-zavislosti-na-hladine-alkoholu.aspx>
- [17] TROJAN, Stanislav. Lékařská fyziologie. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
- [18] OSMANČÍK, Radek. Analýza změny reakční doby vlivem působení vnějších a vnitřních vliv. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2017. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky.

## Seznam příloh

Příloha I	Program mikrokontroléru Arduino <i>BP_DOS0139_Dostalova_Zdenka.ino</i> (příloha na CD/DVD)
Příloha II	Software LabView <i>BP_DOS0139.vi</i> (příloha na CD/DVD)
Příloha III	Vygenerovaný spustitelný soubor aplikace <i>Bi-Fi_aplikace.exe</i> a konfigurační soubory <i>Bi-Fi_aplikace.ini</i> a <i>Bi-Fi_aplikace.aliaes</i> . (příloha na CD/DVD)

Součástí BP je CD/DVD.